

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

# **Tester průtokoměrů aditivačních jednotek**

Tester of Flowmeters of Additive units

Student:

René Černín

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## Zadání bakalářské práce

Student:

**René Černín**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení

Téma:

Tester průtokoměrů aditivačních jednotek  
Tester of Flowmeters of Additive Units

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popište provedení aditivační jednotky, její funkci a funkci samotného průtokoměru.
2. Navrhněte zkušební postup pro testování průtokoměrů.
3. Navrhněte hydraulický obvod pro testování průtokoměrů, zvolte hydraulické prvky a vhodné snímače měřených veličin.
4. Vytvořte zkušební protokol pro zápis naměřených hodnot.
5. Proveďte kontrolní testování průtokoměrů a vyhodnoťte výsledky měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

MURRENHOFF, H. *Fundamentals of Fluid Power*. Aachen: Verlag GmbH. 2014, 387 s. ISBN 978-3-8440-2826-3.

WILL, D.; GEBHARDT, N. *Hydraulik Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Springer, Berlin, 2008, 4. vyd. 450 s. ISBN 978-3-540-79534-6.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha: SNTL, 1990. 160 s. ISBN 80-03-00308-3.

JANALÍK, J. *Měření tekutinových mechanismů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1995, 129 s., dostupné na [www: http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/](http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/).

PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 1. Kapaliny v hydraulických mechanismech. Hydrostatické převodníky*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 2. vyd., 156 s. ISBN 978-80-248-0857-4.

PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 2. vyd., 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Lumír Hružík**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 15. května 2018



.....

Prohlašuji, že

- Jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci akcí pořádaných orgány veřejné zprávy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- Bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- S VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- Užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu užití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše),
- Beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15. května 2018



.....

Jméno a příjmení autora práce: René Černín

Adresa trvalého pobytu autora práce: Olomoucká 475, 747 57 Slavkov

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ČERNÍN, René. Tester průtokoměrů aditivačních jednotek: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2018, Vedoucí práce: Hružík, L.

Práce se zabývá testováním průtokoměrů aditivačních jednotek. Pro tento účel byl navržen a následně sestaven tester průtokoměrů aditivačních jednotek. V jednotlivých kapitolách jsou popsány kroky při návrhu testeru a způsob zkoušení průtokoměrů. Byl navržen zkušební protokol a bylo provedeno měření na sestaveném testeru průtokoměrů.

## ANNOTATION OF BACHLEOR THESIS

ČERNÍN, Rene. Additive Unit Flowmeter Tester: Bachelor Thesis. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Devices, 2018, Supervisor: Hružík, L.

The thesis deals with the testing of flowmeters of additive units. For this purpose a flowmeter tester for additive units was designed and subsequently assembled. The individual chapters describe the steps of designing the tester and how to test the flowmeters. A test report was designed and measurements were made on the assembled flowmeter tester.

# Obsah

Úvod.....	4
1 Popis aditivace a aditivačních jednotek .....	5
2 Průtokoměr.....	7
3 Zkušební systém testeru .....	9
3.1 Zobrazené a vypočítané hodnoty .....	9
3.2 Instalace průtokoměru a podmínky při zkoušce .....	10
3.3 Akceptační kritéria.....	11
4 Zásady bezpečnosti práce.....	11
5 Zkušební kapalina a její vlastnosti .....	12
5.1 Vlastnosti kapaliny .....	12
5.2 Zvolená testovací kapalina.....	12
5.3 Závislost hustoty a viskozity na teplotě.....	13
6 Popis zkušebního zařízení .....	14
6.1 Popis.....	14
6.2 Mechanická část č. 1 .....	14
6.3 Mechanická část č. 2 .....	15
6.4 Mechanická část č. 3 .....	16
6.5 Elektro - část 1 .....	19
6.6 Elektro - část 2 .....	19
7 Seznam použitých prvků .....	22
7.1 Obecný popis .....	22
7.2 Volba hydrogenerátoru .....	22
7.3 Tlakové poměry v tlakové nádobě během její činnosti .....	23
7.4 Hydraulické schéma.....	24
8 Systém práce testeru.....	27

9	Testovací postup.....	28
9.1	Úvod.....	28
9.2	Kalibrace váhy .....	29
9.3	Příprava nerezové tlakové nádoby .....	29
9.4	Zaběhávání průtokoměrů .....	29
9.5	Testování.....	30
9.6	Závěr testu.....	31
9.7	Zkušební protokol – popis .....	31
10	Tester průtokoměrů sestavený.....	38
11	Kontrolní testování průtokoměrů .....	40
	Závěr.....	41
	Seznam použité literatury .....	44
	Seznam obrázků .....	47
	Seznam grafů.....	47
	Seznam tabulek .....	48
	Seznam příloh.....	48



## Seznam použitých jednotek a veličin

Značka	Název veličiny	Jednotka
$\rho$	Měrná hmotnost (hustota)	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
m	Hmotnost	[kg]
$\nu$	Kinematická viskozita	$[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
$\tau$	Teplota	$[^{\circ}\text{C}]$
Q	Průtok	$[\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$ , $[\text{l} \cdot \text{min}^{-1}]$
t	Čas	[s]
V	Objem	$[\text{dm}^3]$ , [l], $[\text{cm}^3]$
p	Tlak	[bar], [Pa]
n	Otáčky	$[\text{min}^{-1}]$

## Úvod

Úkolem této bakalářské práce je navrhnout tester průtokoměrů aditivačních jednotek a postup jejich zkoušení, včetně výstupního protokolu, který bude dodáván společně s průtokoměrem zákazníkovi. Součástí protokolu bude i grafické zobrazení akceptačních kritérií.

Jednotka aditivační je elektrohydraulické zařízení, které dokáže přesně dávkovat aditiva do pohonných hmot podle předem zvolené receptury.

Aditiva jsou látky přidávána do paliv ve skladech pohonných hmot. Aditiva mají za úkol snižovat spotřebu, omezit opotřebení motoru, snížit množství emisí ve výfukových plynech a v neposlední řadě usnadňují startování při silných mrazech. Dávkování aditiv se děje při plnění cisteren ve skladech a tyto cisterny následně rozvázejí pohonné hmoty po jednotlivých benzínových stanicích. Každá společnost (např. Shell, Benzina, OMV, LUKOIL aj.) má vlastní druhy aditiv a vlastní receptury. Chemické složení aditiv je každou společností přísně střeženo.

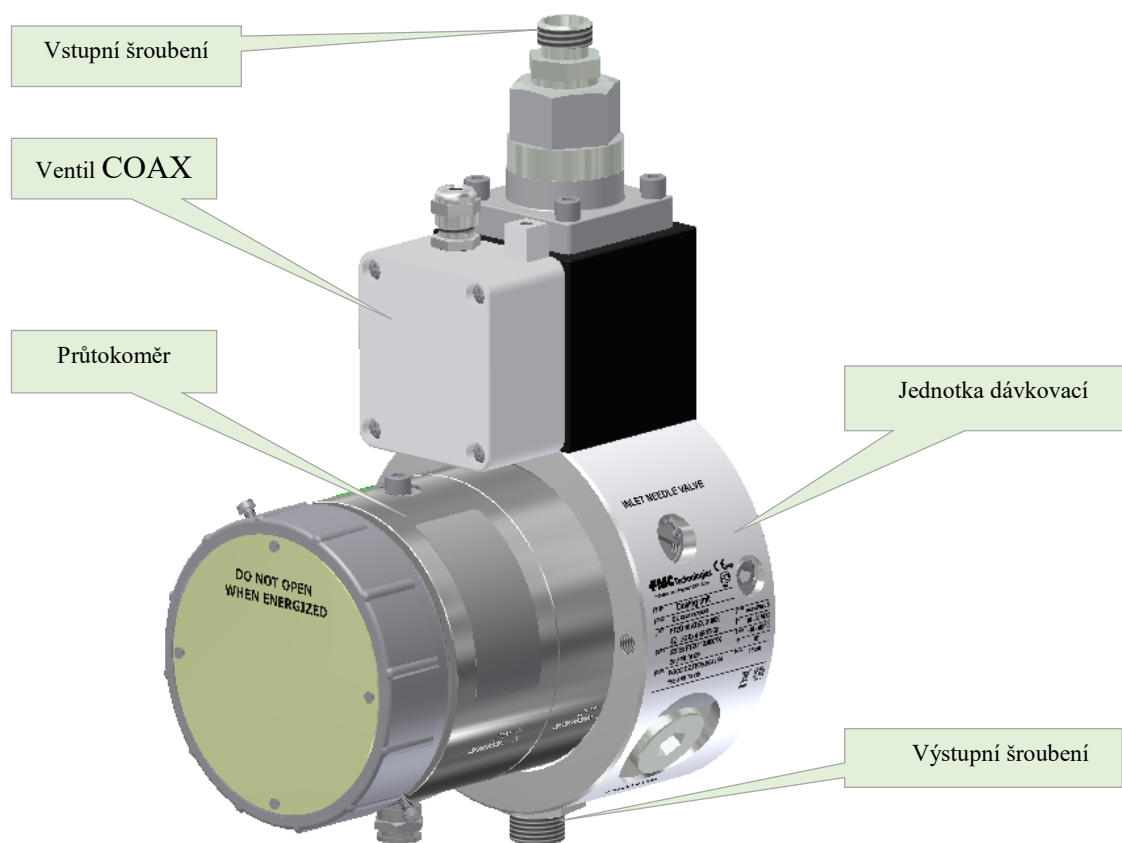
Jednotlivé společnosti nabízí zákazníkům ke koupi právě jejich pohonné hmoty, kde pomocí chytrých reklamních tahů poukazují na to, že jejich produkt je právě tím nejlepším, co můžeme svým autům poskytnout. Pravdou zůstává, že rozdíly v kvalitě pohonných hmot je možno pozorovat. A věřím, že si každý pozorný motorista rozdíl jistě povšiml.

Cílem práce je navrhnout tester průtokoměrů aditivačních jednotek, včetně hydraulického schématu a zvolení vhodných hydraulických prvků a snímačů měřených veličin. Dále navrhnout postup testování průtokoměrů. Na sestaveném testeru provést testování průtokoměrů a výsledky zaznamenat do zkušebního protokolu.

# 1 Popis aditivace a aditivačních jednotek

Jednotka aditivační je jedním z hlavních výrobků firmy Elok. Firma Elok-Opava s.r.o. se zabývá již 25 let výrobou elektrických zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu. Firma má vlastní vývoj, výrobu prototypů, testování, malou až středně velkou sériovou výrobu. Výrobky podléhají přísně certifikaci (dle direktivy ATEX, IECEx, CSA, GHOST, QPS). Firma se specializuje především na výrobu pevných závěrů, komunikačních modulů, **aditivačních jednotek**, měřících a diagnostických systémů. Výrobky firmy Elok jsou distribuovány do různých částí světa jako např. USA, Čína, Anglie, a do řady států Evropy.

Příklad konstrukce aditivační jednotky je uveden na obrázku 1. Jednotka se skládá z průtokoměru, ventilu coax a jednotky dávkovací. Na ventilu coax a jednotce dávkovací je připojovací šroubení pro vstup a výstup aditiva.



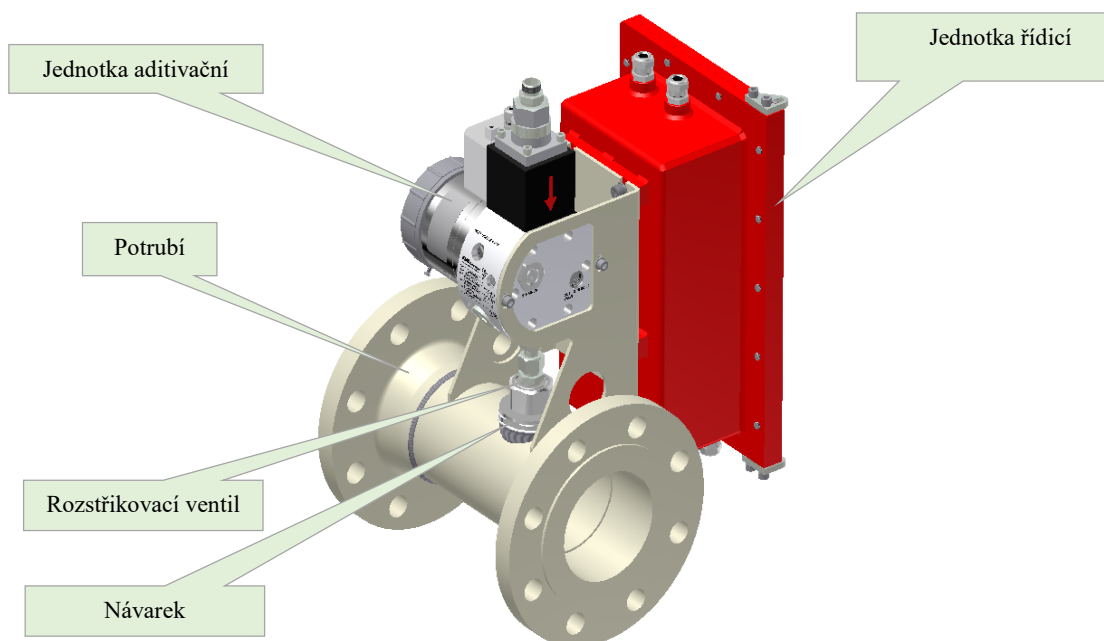
Obrázek 1 – Jednotka aditivační

Součástí aditivační jednotky je řídicí elektronika, která provádí vyhodnocování dat z průtokoměru, řídí ovládání ventilu coax a komunikuje s nadřazenými systémy. Vzhledem k tomu, že zařízení pracují v prostředí s nebezpečím výbuchu, je nutné, aby veškeré použité prvky splňovaly podmínky pro práci ve výbušném prostředí.

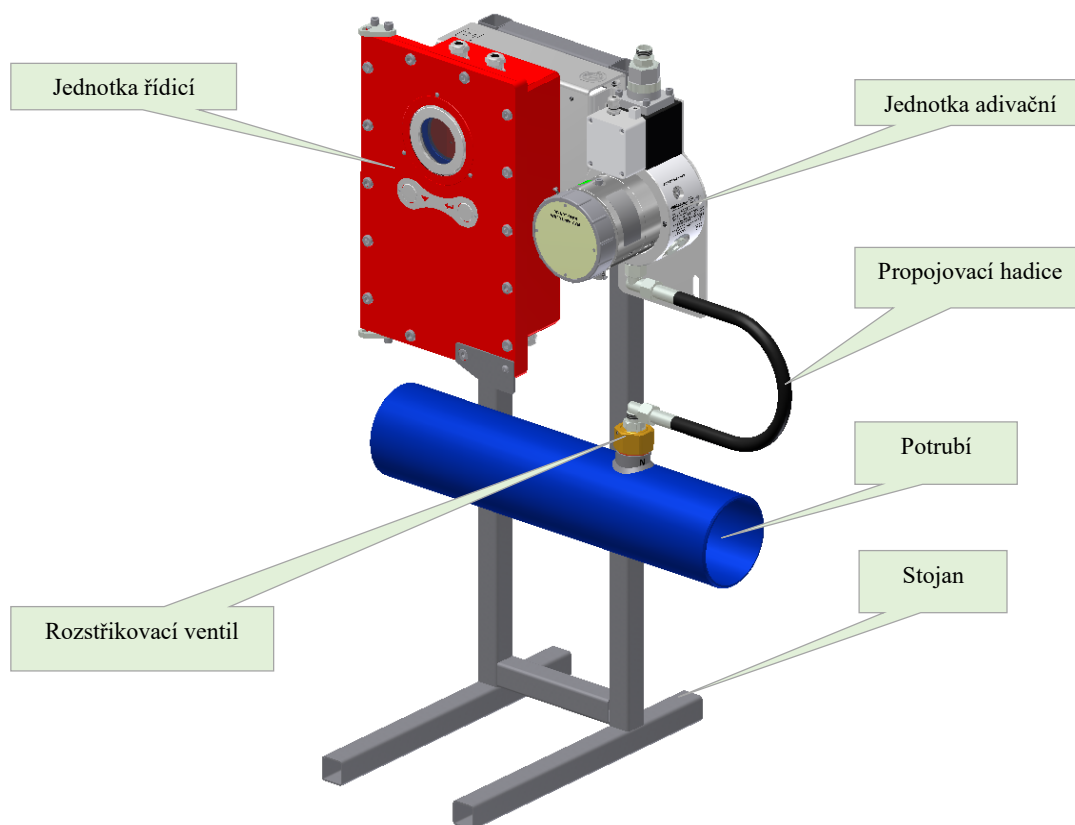
Řídicí elektronika je umístěna v kovové skříni. Spolu s touto skříní tvoří jednotku řídicí. Samotná skříň je konstruovaná v provedení „pevný závěr“. Pevný závěr je speciální kovová skříň, jejíž konstrukce neumožňuje průnik plamene zevnitř ven, při případné explozi výbušných plynů uvnitř závěru. Může být v provedení svařovaném z ocelových plechů, odlévaná z hliníkových slitin nebo vyrobena třískovým obráběním z monobloku.

Jednotku aditivační s řídicí elektronikou je možno umístit přímo na potrubí, nebo je řídicí elektronika s aditivační jednotkou umístěna mimo potrubí na vhodné konzole. Příklady napojení jednotek ukazují obrázky 2 a 3.

Důležitým prvkem samotného dávkování aditiv do produktu (benzín, nafta) je rozstřikovací ventil, jehož konstrukce zajišťuje řádné mísení aditiva s produktem. Je našroubován do komponentu (návarek) přivařeného na potrubí. Rozstřikovací ventil je spojen s aditivační jednotkou buď šroubením, nebo hydraulickou hadicí. (Obrázky 2 a 3)



*Obrázek 2 – Instalace jednotky aditivační s jednotkou řídicí na potrubí*



*Obrázek 3 – Instalace jednotky aditivační s jednotkou řídicí mimo potrubí*

## 2 Průtokoměr

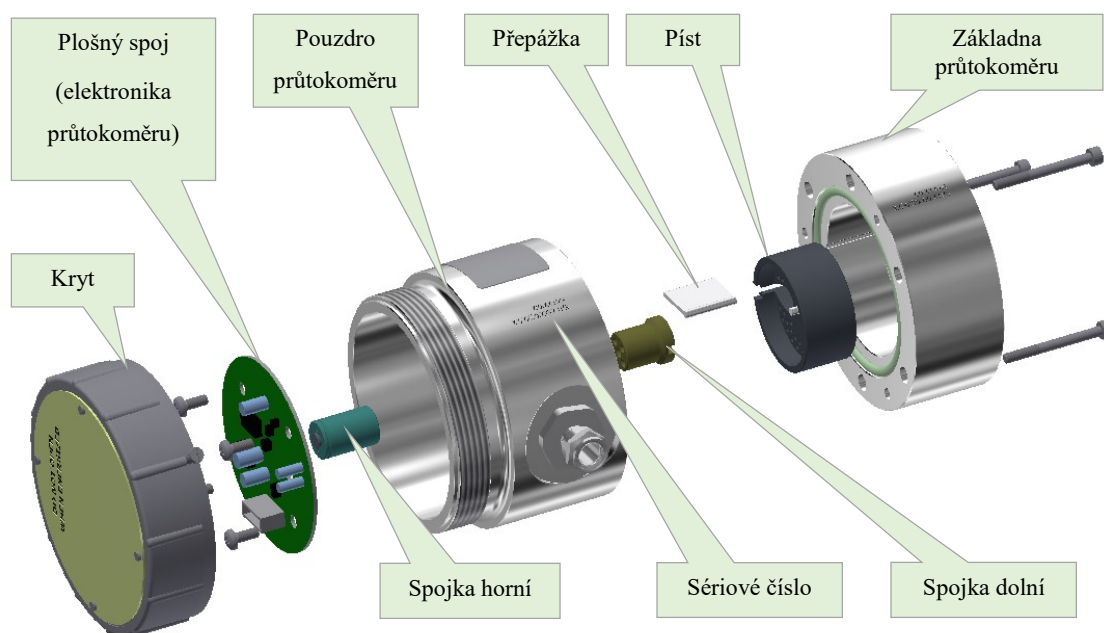
Důležitou a nedílnou součástí aditivační jednotky je průtokoměr. Ten slouží k odměření protékajícího aditiva v závislosti na zvolené receptuře. Konstrukce průtokoměru je zobrazena na obr. 4 a obr. 5. Většina dílů průtokoměru je vyrobena z nerezové oceli. Pohybující se části (píst, spojka horní, spojka dolní) jsou vyrobeny z karbonu. Těsnost zajišťují „O“ kroužky z vitonu potaženého teflonem (PTFE). Průtokoměr můžeme pomyslně rozdělit na dvě části, „část suchá“ a „část mokrá“. Obě části jsou k sobě přišroubovány nerezovými šrouby a těsnost mezi nimi je zajištěna „O“ kroužkem.

Částí „mokrou“, která je připevněna k bloku jednotky dávkovací viz obr. 1 (případně monobloku testeru (viz obr. 10), prochází aditivum a roztáčí píst v komoře. Píst vykonává v komoře vlivem průtoku kapaliny excentrický pohyb. Pohyb pístu vychází z jeho konstrukce a umístění v základně průtokoměru. Součástí základny průtokoměru je přepážka oddělující vstup a výstup kapaliny do průtokoměru. Píst je spojen s dolní spojkou pomocí nerezového kolíčku. Ten je vlepen pomocí speciálního lepidla do středu pístu.

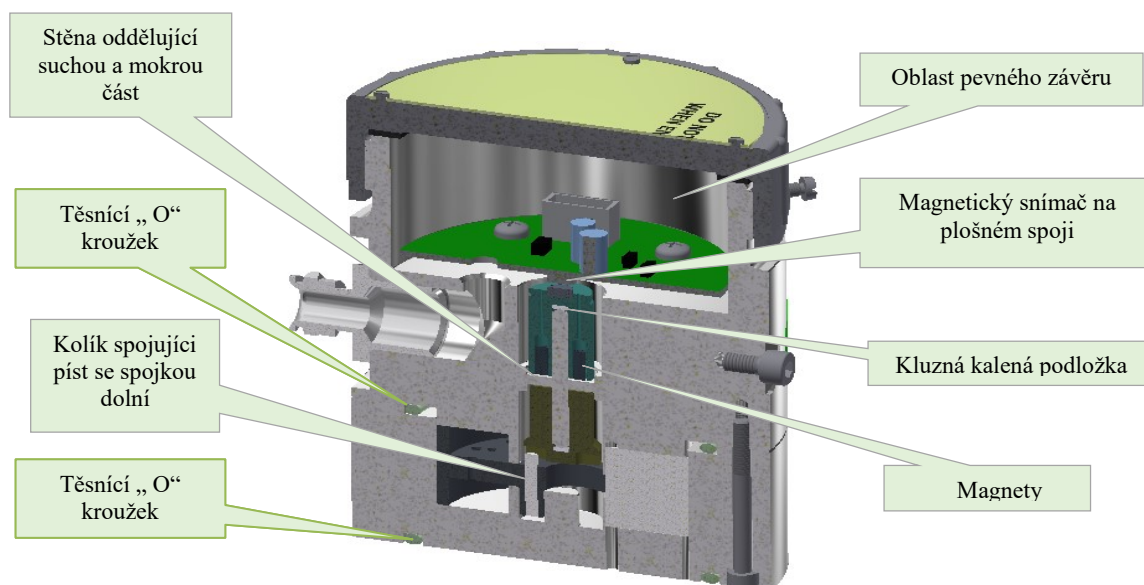
Spojka, která je pístem roztáčena, je opatřena ve své horní části vlepenými neodymovými magnety.

Tyto magnety svým magnetickým polem působí na magnety horní spojky přes nerezovou stěnu oddělující mokrou a suchou část průtokoměru. Horní spojka je umístěna již v „suché“ části. Magnety jsou ve spojkách orientovány tak, aby otáčením dolní spojky docházelo vlivem magnetického pole při otáčení k roztočení spojky horní. Na druhé straně horní spojky je plochý neodymový magnet. Nad tímto magnetem je nainstalován plošný spoj s magnetickým snímačem a ostatní vyhodnocovací elektronikou. Spojky jsou jak v základně, tak v pouzdře průtokoměru nasazeny na nerezové hřídele. Tyto hřídele dosedají na kalené podložky, které jsou vlepeny na dně otvorů spojek.

„Suchá“ část průtokoměru je konstruovaná v provedení pevný závěr, který je tvořen pouzdem průtokoměru a krytem. Elektronika umístěná v této části je spojena s řídicí elektronikou pomocí kabelu, která vystupuje z průtokoměru ven přes speciální vývodku.



*Obrázek 4 – Průtokoměr popis dílů – část 1*



*Obrázek 5 – Průtokoměr popis dílů – část II*

Průtokoměr slouží jako měřidlo, které je nutno před samotným nainstalováním na jednotku aditivační a následným uvedením do provozu, podrobit testu. V následujících kapitolách je popsán návrh testeru průtokoměru, způsob testování a vytvoření zkušebního protokolu.

### 3 Zkušební systém testeru

V následujících kapitolách jsou popsány požadavky na zkušební systém testeru.

#### 3.1 Zobrazené a vypočítané hodnoty

Tester je konstruován tak, aby na něm bylo možno provádět testování šesti kusů průtokoměrů najednou zapojených do série. Ovládání testeru bude v poloautomatickém režimu. Počítač testeru musí být kompatibilní s elektronikou průtokoměru a s ostatními prvky testeru a musí být schopen:

- a) zobrazit následující:
  - Informaci o průtokoměru.
  - Datum.
  - Zkušební kapalinu.
  - Impulsy elektroniky průtokoměru.
  - Hustotu  $\rho$  zkušebního média ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).
  - Teplotu  $\tau$  zkušebního média ( $^{\circ}\text{C}$ ).
  - Tlak  $p$  v obvodu (bar).

- Dobu zkoušky  $t$  (s).
  - Hmotnost  $m$  (kg).
  - Kinematickou viskozitu  $\nu$  ( $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).
- b) Vypočítat a zobrazit následující:
- Průtok  $Q$  ( $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ).
  - K faktor (pulsy/l).
  - Objem zkoušky  $V_z$  (l,  $\text{dm}^3$ ) – přepočet z hmotnosti a hustoty.
  - Opakovatelnost ( $\pm 0,1$  %).
  - Korekční faktory pro změnu hustoty a viskozity v závislosti na teplotě.
  - Linearitu ( $\pm 0,5$  %) – pro rozsah průtoku viz tab. 1.

### 3.2 Instalace průtokoměru a podmínky při zkoušce

1. Průtokoměry budou usazeny v nerezových monoblocích a tyto bloky budou zapojeny v sérii šesti kusů.
2. Průtokoměr s monoblokem, musí být instalován do testovacího systému s otvory monobloku v horizontální poloze. To znamená, že osa průtokoměrů je ve vertikální poloze.
3. Velikost testovací dávky pro průtokoměr musí vyvolat minimálně 50 000 pulsů. Při vyšších průtocích se velikost dávky/počet pulsů bude muset zvýšit tak, aby dávka trvala minimálně 1 min.
4. Jmenovitý K faktor je 10 000 pulsů/l.
5. Testování průtokoměrů musí být při teplotě okolí v rozmezí  $\tau_{okoli} = (15 \div 30) ^\circ\text{C}$ .
6. Teplota kapaliny se nesmí v průběhu zkoušky zvýšit o více než  $\Delta\tau = 3 ^\circ\text{C}$ .
7. Po instalaci průtokoměrů do monobloku nechat průtokoměry zaběhat po dobu min.  $t_z = 5$  min. Tím také dojde ke stabilizaci teploty celého systému.
8. Pro každý průtok  $Q$  se musí provést min. 2 měření.
9. Průtoky při zkoušce musí být následující:

*Tabulka 1 – Zkušební průtoky*

Průtoky l/min ( Gal/min)	0,5 (0,13)	0,8 (0,21)	1,2 (0,32)	2,4 (0,63)	4,8 (1,27)	7,2 (1,9)	9,6 (2,54)	12 (3,17)
Tolerance	+/- 20%	+/- 10%	+/- 10%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%	+/- 5%



### 3.3 Akceptační kritéria

Akceptační kritéria byla zvolena na základě požadavků zákazníka.

1. Průtokoměr musí **opakovat každý průtok  $\pm 0,10 \%$**  ve dvou po sobě jdoucích měřeních.
2. **Linearita** pro rozsah průtoku  $Q = (0,13 \div 3,2 \text{ GPM}), (0,5 \div 12,0 \text{ LPM})$  **musí být  $\pm 0,50 \%$  nebo lepší.** [GPM – gallons per minutes, (galon za minutu); LPM – liters per minutes, (litrů za minutu)]
3. **K faktor** musí být 38 750 pulsů/galon (**10 000 pulsů/l**)  $\pm 5 \%$ .

## 4 Zásady bezpečnosti práce

NÁSLEDUJÍCÍ BEZPEČNOSTNÍ ZÁSADY MUSÍ BÝT DODRŽENY BĚHEM VŠECH FUNKČNÍCH A HYDROSTATICKÝCH TLAKOVÝCH ZKOUŠEK:

1. Tlakové zkoušky smí provádět pouze oprávněný/školený personál.
2. Používejte pouze správně tlakově a velikostně dimenzované potrubí, trubky, spojovací materiál, fitinky, zátky a další potrubní komponenty.
3. Používejte pouze certifikované manometry, které jsou dimenzovány podle očekávaných zkušebních tlaků pro prováděné tlakové zkoušky, jež by měly spadat do prostřední třetiny číselníku manometru.
4. Snažte se umístit tlakovou nádobu tak, aby fitinky, zkušební zátky a manometry směřovaly ke zdi zkušební kabiny a nepředstavovaly riziko pro zkušební personál v případě jejich poruchy.
5. Před zahájením zkoušky si vždy ověřte, že na tlakovou nádobu bude aplikován správný tlak.
6. Postupně zvyšujte zkušební tlak až do příslušné úrovně uvedené v tomto zkušebním postupu.
7. Musí být nainstalováno přepouštěcí zařízení, aby nedošlo k přetlaku v měřiči.
8. Je-li zařízení pod tlakem, nesmí být na zařízení prováděny žádné opravy.

## 5 Zkušební kapalina a její vlastnosti

Zkušební kapalina je jednou z nejdůležitějších komponent testeru. Je kladen velký důraz na její vlastnosti a čistotu.

### 5.1 Vlastnosti kapaliny

1. Musí to být směsný olej na bázi petroleje.
2. Viskozita musí být  $\nu_{olej} = (6,0 \div 12,0) \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  při předpokládaných zkušebních teplotách.
3. Měrná hmotnost musí být  $\rho = (780 \div 860) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  při předpokládaných zkušebních teplotách.
4. Kapalina ve zkušebním systému se musí kvartálně kontrolovat, aby se zjistilo následující:
  - Měrná hmotnost je v rámci specifikace.
  - Viskozita je v rámci specifikace.
  - Nedošlo k překročení stupně kyselosti.
  - Neobsahuje vodu.

Maximální doba, kdy je možno kapalinu v testeru používat je 1 rok. Po uplynutí této doby, je nutno kapalinu vyměnit za novou.

### 5.2 Zvolená testovací kapalina

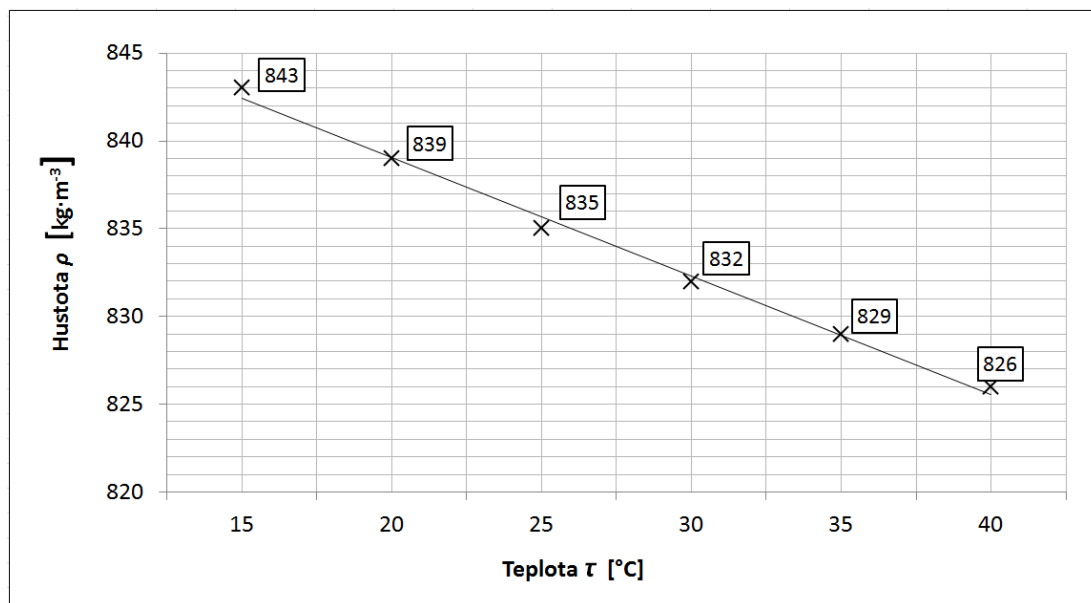
Jako zkušební kapalina byl zvolen Olej **PARAMO CUT 3**. Technické informace k oleji viz tab. 2.

Tabulka 2 – Charakteristické parametry oleje PARAMO CUT<sup>30</sup>

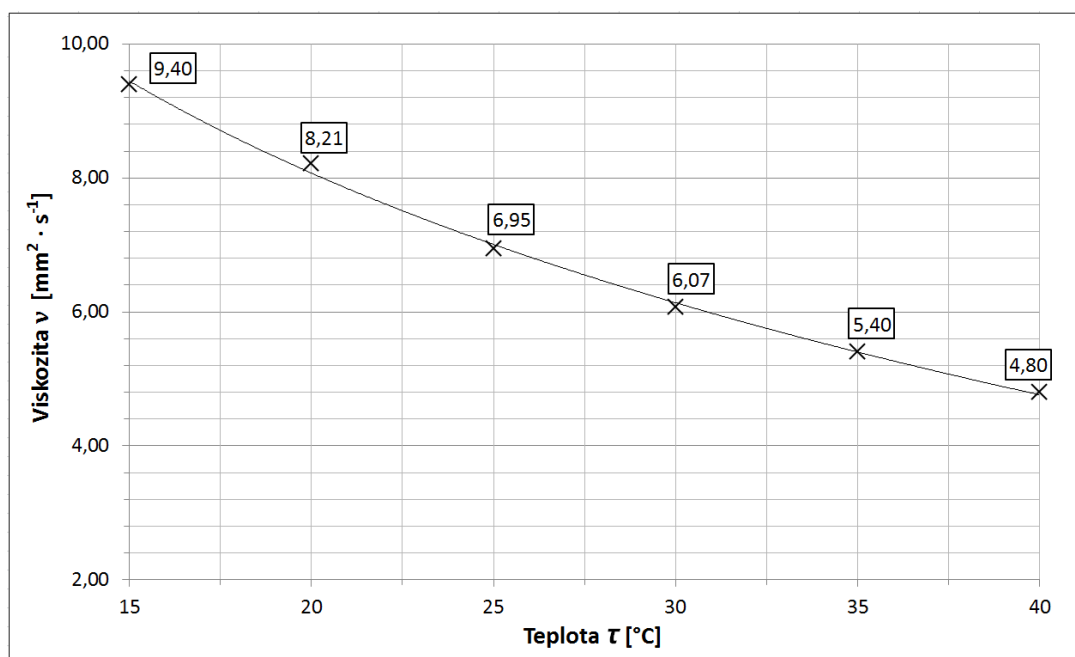
Parametr	Jednotka	Hodnota	Norma
Hustota při 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	852	ČSN EN ISO 12185 (656012)
Kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3	ČSN EN ISO 3104 ( 65 6016)
Bod vzplanutí PM min.	°C	196	ČSN EN 22719 (65 6064)
Bod tekutosti	°C	-15	ČSN ISO 3016 (65 6078)
Korozní působení na kovy - na oceli 20 °C/24h - na mosazi 80 °C/3h	°C/hod.	nekorozivní	ČSN 65 6074

### 5.3 Závislost hustoty a viskozity na teplotě

Pro zvolený zkušební olej, byla firmou HEKRA Opava s.r.o, změřena závislost hustoty  $\rho$  a viskozity  $\nu$  na teplotě  $\tau$ . Z naměřených údajů byly vytvořeny grafy závislosti hustoty a viskozity na teplotě oleje. Hodnoty těchto závislostí budou zaznamenány do zkušebního protokolu, podle aktuální teploty kapaliny. Ve zkušebním protokolu je zapsána vždy nejvyšší a nejnižší hodnota viskozity, hustoty a teploty, zaznamenaná během celého měření.



Graf 1 – Závislost hustoty  $\rho$  na teplotě  $\tau$  pro zkušební olej PARAMO CUT 3



Graf 2 – Závislost kinematické viskozity  $\nu$  na teplotě  $\tau$  pro zkušební olej PARAMO CUT 3

## 6 Popis zkušebního zařízení

### 6.1 Popis

Samotný tester průtokoměrů můžeme rozdělit na tři samostatné části mechanické a dvě části elektrické.

Mechanická část testeru má tři samostatné části, které jsou navrženy a umístěny tak, aby u nich nedocházelo k vzájemnému kontaktu. Snahou této konstrukce je zabránit vzájemnému přenosu vibrací, zejména od nádrže s instalovaným čerpadlem a elektromotorem, na ostatní části testeru. Na jednotlivých stojanech jsou umístěny potřebné prvky pro testování. Umístění jednotlivých částí testeru vůči sobě je zobrazeno na obr. 6.

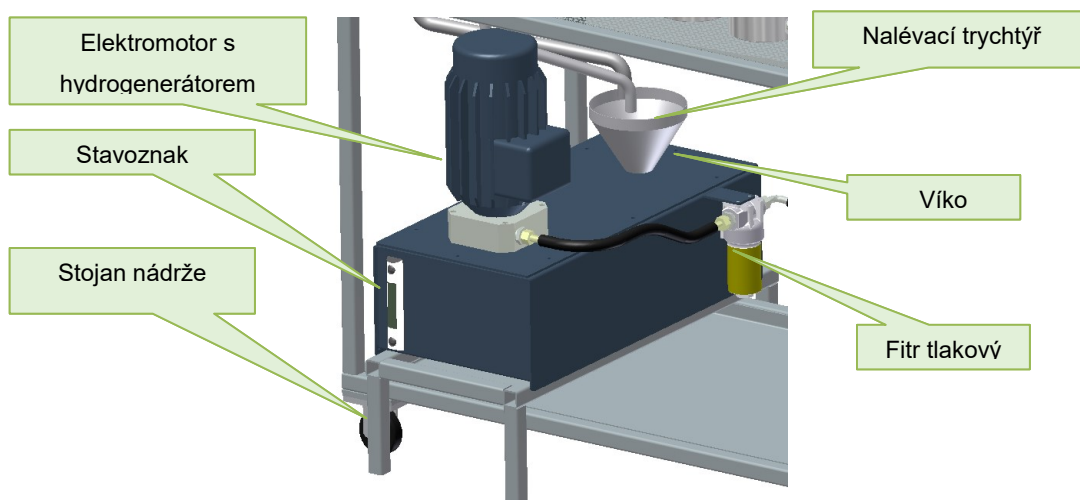


Obrázek 6 – Sestava testeru průtokoměrů

### 6.2 Mechanická část č. 1

První část tvoří stojan hydraulické nádrže, na kterém je umístěna nádrž o objemu  $V_n = 35$  l. Nádrž je zhotovena jako svařenec z ocelového plechu. Součástí nádrže je víko. Na víku nádrže je v přední části (na straně obsluhy) instalováno zubové čerpadlo s vnějším ozubením (s geometrickým objemem  $V_g = 14$  cm<sup>3</sup>) a elektromotor s jmenovitými otáčkami  $n = 1450$  min<sup>-1</sup>. V zadní části víka je otvor, ve kterém je uchycen trychtýř opatřený filtračním sítkem. Tento trychtýř slouží jako nalévací, pro vracející se kapalinu po ukončení testu. Dále je do něj vztažena i trubka zajišťující odvod kapalinu ze sběrného

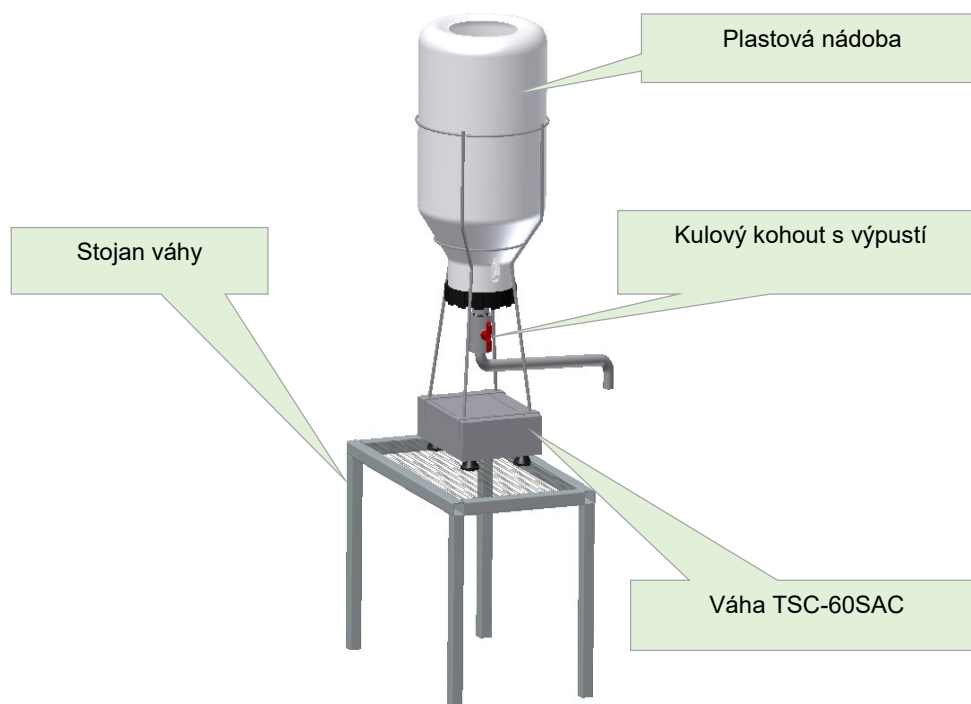
plechu, který je instalován pod testovanými průtokoměry. Sběrný plech odvádí vyteklý olej při výměně průtokoměru do hydraulické nádrže. Nádrž je osazena stavoznakem, sloužícím k vizuální kontrole stavu oleje v nádrži. Dále je na nádrži umístěna konzola s tlakovým filtrem. Filtr plní důležitou úlohu v udržování čistoty zkušební kapaliny. Čistota média doporučená pro provoz jak průtokoměrů, tak samotných aditivačních jednotek je 10  $\mu\text{m}$ . Čistotu kapaliny je třeba přísně dodržovat a filtr měnit v určených intervalech.



*Obrázek 7 – Mechanická část č. 1*

### 6.3 Mechanická část č. 2

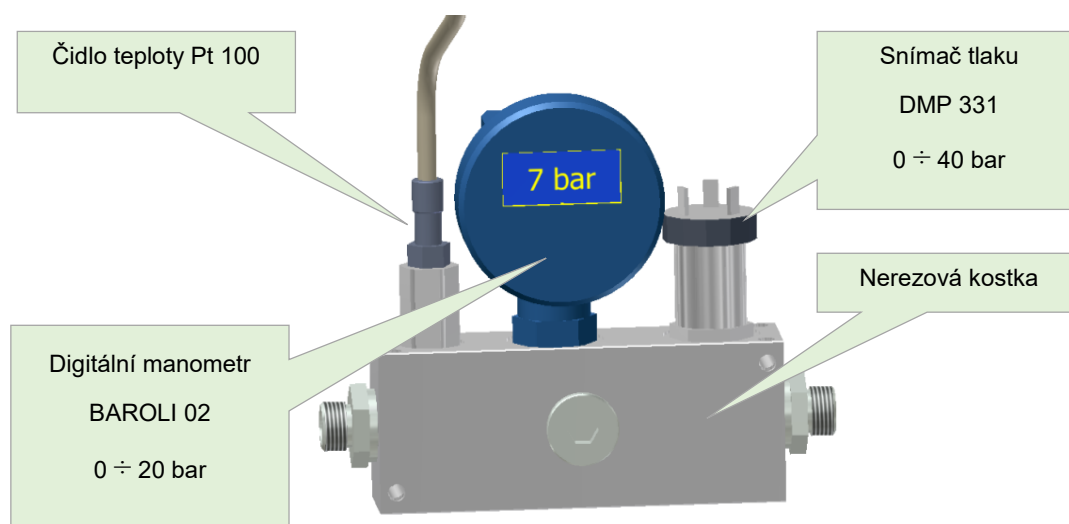
Druhou mechanickou část testeru tvoří stojan váhy. Na tomto stojanu je umístěna váha se sběrnou plastovou nádobou. Do horní části nádoby je pomocí plastové trubky přiváděna zkušební kapalina. Hmotnost kapaliny je zaznamenávána pomocí váhy a zobrazena, jak na displeji váhy viz obr. 11, tak v testovacím programu viz obr. 13. Ve spodní části nádoby je plastový kulový kohout, sloužící k vypouštění nádoby po ukončení měření. K tomuto kohoutu je připevněna trubka, kterou se zkušební kapalina odvádí přes trychtýř zpět do nádrže. Je důležité, aby trubka, stojan a samotná plastová nádoba nebyly v kontaktu s jinými částmi testeru.



*Obrázek 8 – Mechanická část č. 2*

#### **6.4 Mechanická část č. 3**

Třetí mechanická část testeru je testovací stojan. Na tomto stojanu jsou umístěny veškeré hydraulické prvky potřebné k testování, včetně šestice nerezových monobloků, do kterých se instalují testované průtokoměry. Monobloky leží na děrovaném plechu. Ten zajišťuje, aby se vytekla kapalina, při výměně průtokoměrů, vracela přes sběrný plech do hydraulické nádrže. Před a za monobloky, ve směru proudění kapaliny, jsou nerezové kostky, na kterých jsou nainstalovány snímače tlaku, informativní digitální manometry (pro informaci o tlaku) a teplotní čidla Pt 100. Umístění prvků na nerezové kostce je vidět na obrázku 9. Hodnoty ze snímače tlaku a teplotního snímače jsou během měření zobrazovány na monitoru počítače. Po ukončení měření jsou tyto hodnoty zapsány do zkušebního protokolu. Do protokolu se zapisuje vždy minimální a maximální hodnota, která byla zaznamenána během celého měření.

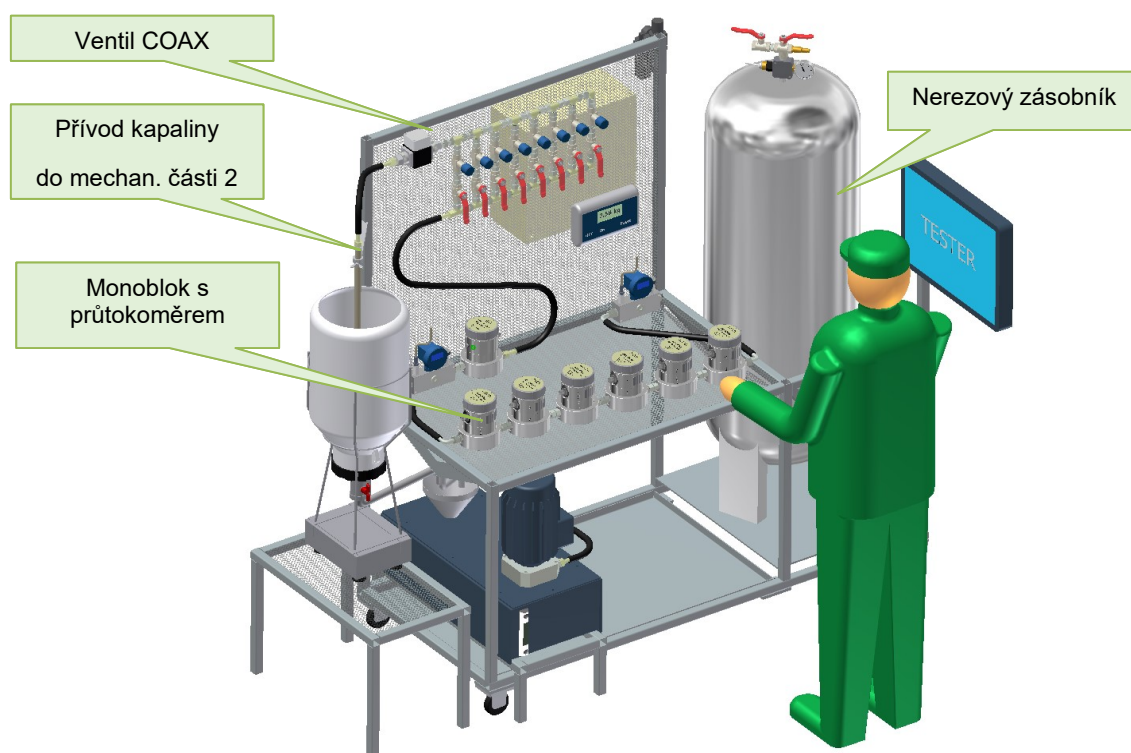


Obrázek 9 – Nerezová kostka s prvky

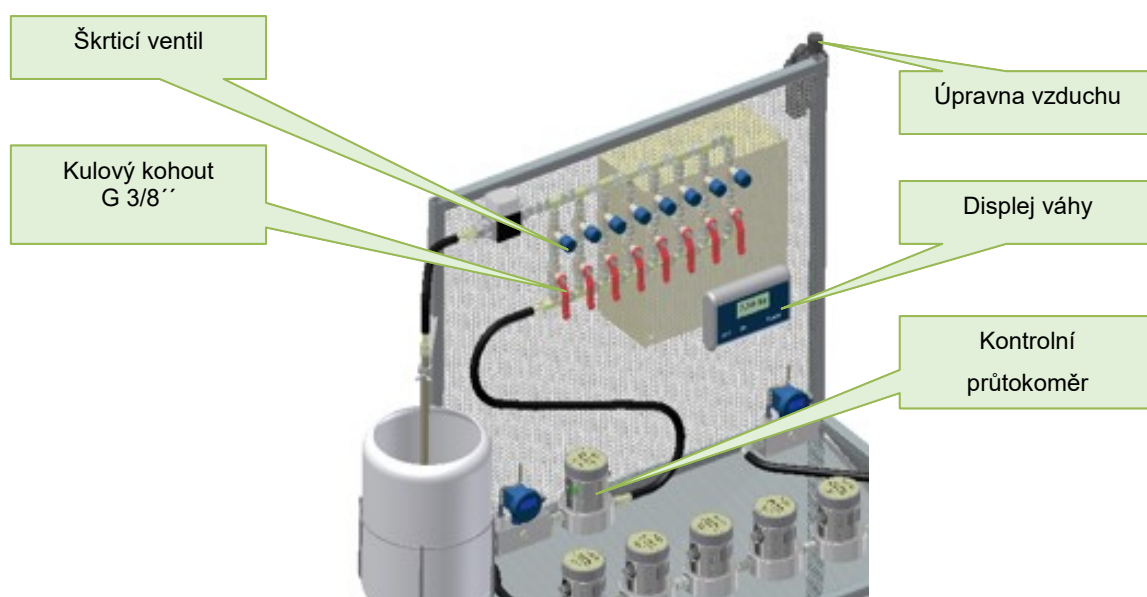
Rozmístění dalších prvků je zobrazeno na obrázcích 10 a 11. Stojan s rozmístěním jednotlivých prvků je ergonomicky navržen tak, aby obsluha měla pohodlný přístup nejen k instalaci průtokoměrů do monobloků, ale i k ovládání jednotlivých prvků testeru. Zejména displeje váhy s ovládacími tlačítky, tak k nastavování jednotlivých měřených průtoků. To se děje pomocí kulových kohoutů, které jsou instalovány před škrticími ventily. Jednotlivé škrticí ventily jsou seřízeny na požadované průtoky.

Součástí stojanu je i nerezová tlaková nádoba s testovací kapalinou. Celkový objem nádoby je  $V_N = 200$  l. Testovací kapalina bude vyplňovat 50 % objemu (100 l). Zbýlý objem bude vyplněn stlačeným vzduchem. Vytvoří se tak systém akumulátoru (viz kapitola 7.3). Kapalina je dodávána do nerezové nádoby zubovým čerpadlem z hydraulické nádrže přes jednosměrný ventil (viz obr. 23), který je instalován na vstupním šroubení tlakové nádoby. Tento ventil zabrání zpětnému proudění kapaliny zpět do hydraulické nádrže při vypnutém čerpadle.

Stlačený vzduch je do nádoby dodáván přes úpravnu vzduchu, která je napojena na centrální rozvod. Při této aplikaci není v úpravně vzduchu použito mazání. Podrobný popis plnění tlakové nádoby vzduchem je uveden v kapitole 9.3.



Obrázek 10 – Prvky mechanické části 3



Obrázek 11 – Prvky mechanické části č. 3



## 6.5 Elektro - část 1

První elektro část testeru tvoří rozvaděčová skříň. Skříň obsahuje hlavní vypínač, tlačítko nouzového zastavení, pojistky a potřebnou elektroniku pro sběr dat. Jednotlivé elektrické prvky byly vybrány pracovníky oddělení elektro-vývoje, instalovány do skříně a následně propojeny kabely.



Obrázek 12 – Elektrická skříň s prvky

## 6.6 Elektro - část 2

Druhou elektro část tvoří průmyslový počítač. Ten pomocí příslušného softwaru provádí výpočty a zápisy dat do připraveného zkušebního protokolu. Zkušební protokol je zobrazen a popsán v kapitole 9.7. Zkušební protokol je vytvořen aplikací Microsoft Excel.

Software, „**Flowmeter tester**“, který slouží pro ovládání testeru a k zápisu dat do zkušebního protokolu, je vytvořen elektro-vývojovým oddělením firmy Elok. Na obr. 13 je vidět grafické zpracování, které je zobrazeno na monitoru počítače.

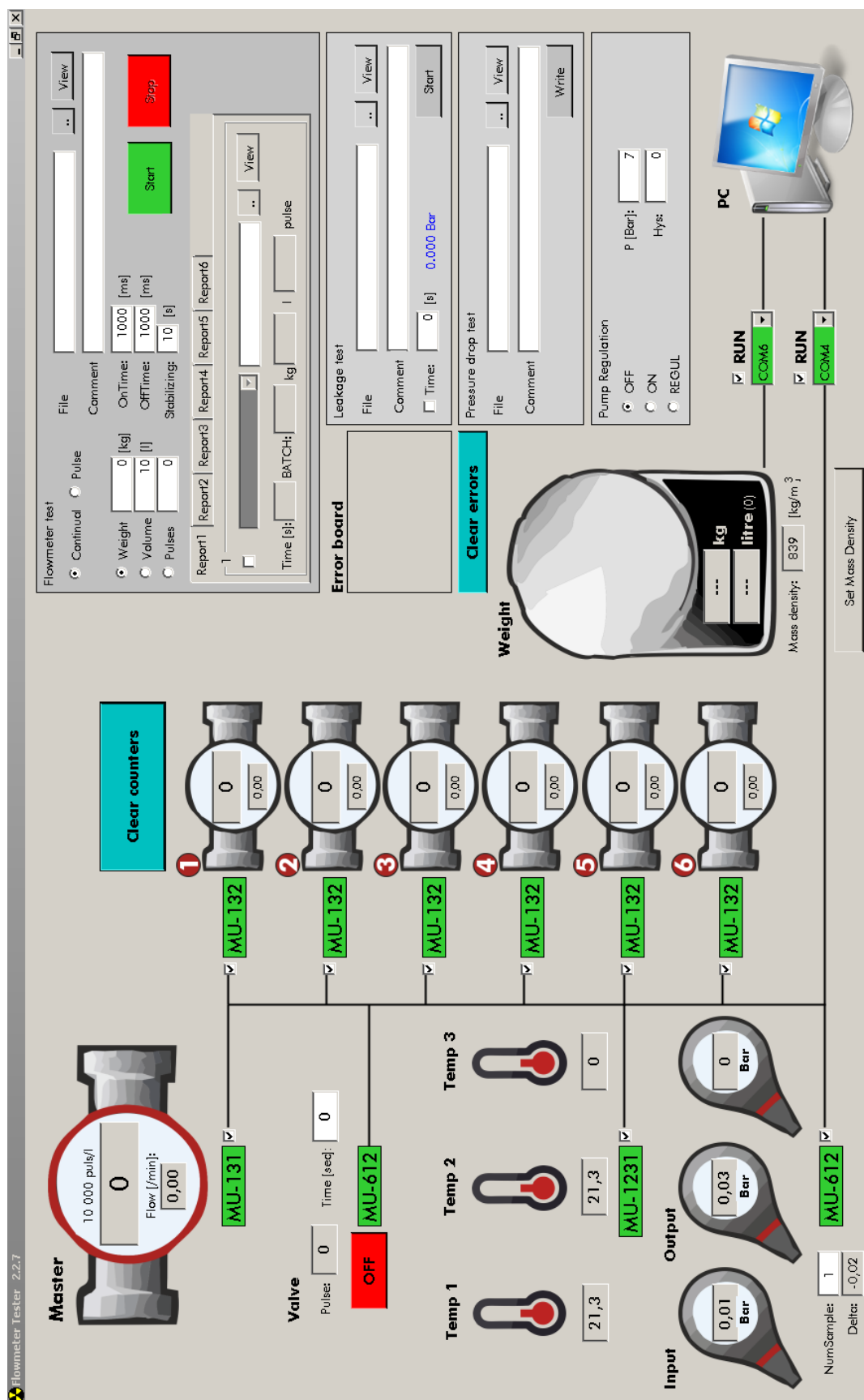
Pomyslně je toto zobrazení rozděleno na dvě části.

Levá část (v našem případě dolní polovina obrázku) zobrazuje hodnoty jednotlivých průtokoměrů, teplotu zkušební kapaliny, tlak před vstupem do monobloků a tlak na výstupu. Dále je možné sledovat hodnoty kontrolního průtokoměru „master“.

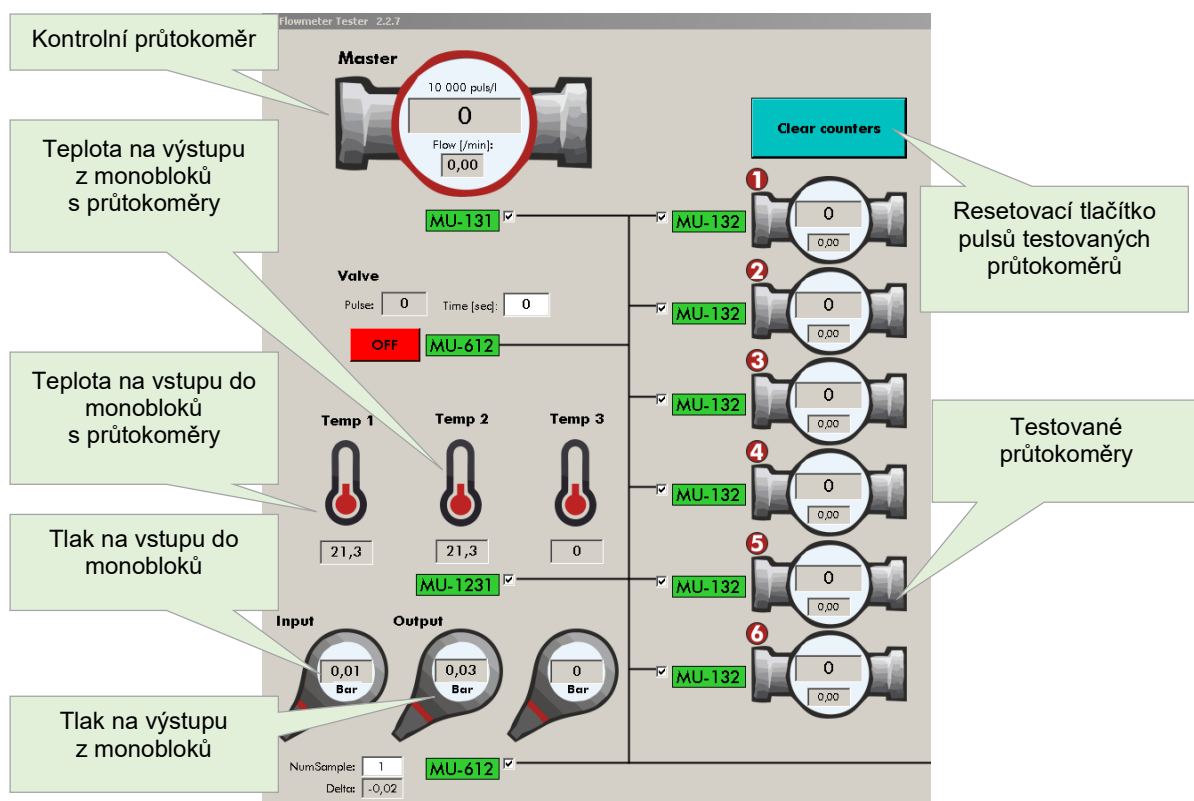
Pravá část (v našem případě horní polovina obrázku) slouží pro zadávání hodnot, především odměřované množství a přiřazení zkušebních protokolů k jednotlivým průtokoměrům. Dále je zde možno sledovat údaje z váhy.

Podrobnější popis grafického zobrazení je na obrázcích 14 a 15.

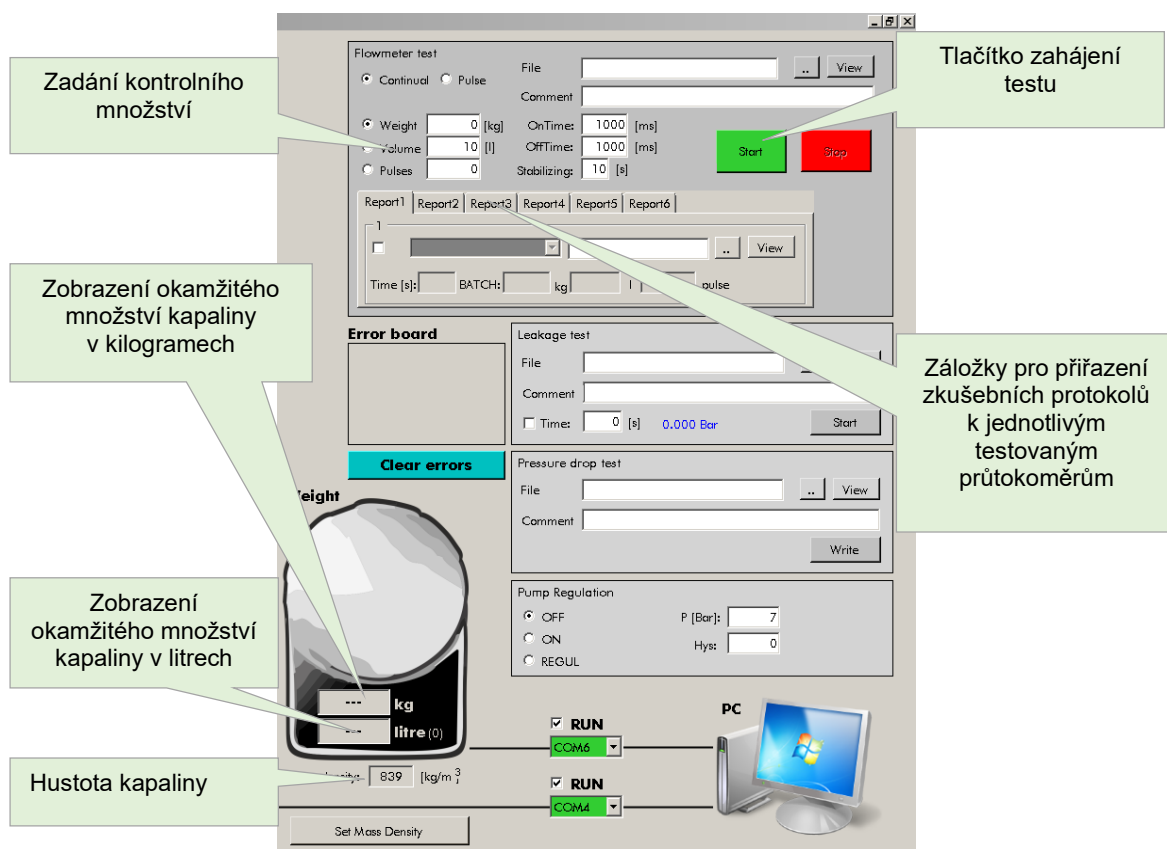
Podrobný způsob testování a zadávání hodnot je popsán v kapitole 8 a 9.



Obrázek 13 – Zobrazení měření na monitoru počítače



Obrázek 14 – Zobrazení měření na monitoru počítače část levá



Obrázek 15 – Zobrazení měření na monitoru počítače část pravá

## 7 Seznam použitých prvků

### 7.1 Obecný popis

V této kapitole jsou zobrazeny a popsány prvky, které byly použity při konstrukci a následné montáži testeru průtokoměrů.

V tabulkách 3 a 4 (viz str. 25 a 26) jsou vyobrazeny zvolené prvky, jejich typové označení a název firmy, která prvky dodala. Číslo u obrázku v seznamu použitých prvků je shodné s číslem pozice na výkrese hydraulického schématu. (viz příloha C).

Při výběru většiny prvků se vycházelo ze záměru využít co nejvíce prvků běžně používaných v jiných aplikacích firmou Elok, s ohledem na zkušenosti s danými prvky. Dalším kritériem bylo využití prvků, které tvoří skladové zásoby a projekt zbytečně finančně nezatížit nákupem nových.

### 7.2 Volba hydrogenerátoru

Pro tuto aplikaci bylo zvoleno zubové čerpadlo s vnějším ozubením od firmy Argohyos, typu: GPL2L-14-R-RE-VJ-S-GD-N

Geometrický objem čerpadla je  $V_g = 14 \text{ cm}^3 = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

Otáčky elektromotoru:  $n = 1450 \text{ min}^{-1}$

Přepoččet pro skutečný průtok: při  $\eta_Q = (94 \div 98)\% \rightarrow \text{volím } \eta_Q = 0,95$

$$Q_{skut} = V_g \cdot \frac{n}{60} \cdot \eta_Q \quad (7.2.1)$$

$$Q_{skut} = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1450}{60} \cdot 0,95 = 3,214 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 19,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Maximální požadovaný průtok při testování průtokoměrů je  $Q_{max} = 12 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Z výpočtu je zřejmé, že dodávané množství čerpadlem  $Q_{skut}$  do tlakové nádoby je vyšší než maximální měřený průtok  $Q_{max}$ . Čerpadlo bude schopno dodat do tlakové nádoby během testů dostatečné množství zkušební kapaliny.

### 7.3 Tlakové poměry v tlakové nádobě během její činnosti

Zvolená tlaková nádoba plní funkci hydraulického akumulátoru. Deformační energie stlačeného vzduchu se během testování převede zpět na energii tlakovou kapaliny.

Vzhledem k tomu, že plnění tlakové nádoby zkušební kapalinou během testování je pomalé, nedochází při plnění tlakové nádoby ke změně teploty vzduchu při jeho kompresi, teplota stlačeného vzduchu nad kapalinou je cca konstantní.

Průběh tlaku v tlakové nádobě během její činnosti se řídí rovnicí:

$$p \cdot V^n = konst. \quad (7.3.1)$$

Pro stavovou změnu z počátečního stavu platí:

$$p_{max} \cdot V_1^n = p_{min} \cdot V_2^n \quad (7.3.2)$$

Tlakové čidlo je nastaveno na hodnotu sepnutí čerpadla v okamžiku, kdy hodnota relativního tlaku vzduchu v tlakové nádobě dosáhne  $p_{min\ rel} = 6\ bar = 600\ 000\ Pa$ , a po dosažení relativního tlaku vzduchu  $p_{max\ rel} = 7\ bar = 700\ 000\ Pa$  dojde k vypnutí čerpadla.

$$\text{pro } n=1: \quad V_2 = \frac{p_{max\ abs} \cdot V_1}{p_{min\ abs}} \quad (7.3.3)$$

$$V_2 = \frac{800\ 000 \cdot 0,05}{700\ 000} = 0,057\ m^3$$

Kde:

$V_2$  = objem vzduchu nad kapalinou při sepnutí čerpadla;

$V_1 = 0,05\ m^3$  objem vzduchu nad kapalinou při začátku testu (vypnuté čerpadlo);

$p_{max\ abs} = p_0 + p_{rel} = 1 + 7 = 8\ bar = 800\ 000\ Pa$  (tlak vzduchu nad kapalinou při vypnutém čerpadle);

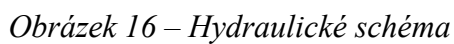
$p_{min\ abs} = p_0 + p_{rel} = 1 + 6 = 7\ bar = 700\ 000\ Pa$  (tlak vzduchu nad kapalinou při zapnutí čerpadla);

$n = 1$  (platí pro změnu izotermickou).






$$\Delta V = V_2 - V_1 = 0,057 - 0,05 = 0,007\ m^3 \quad (7.3.4)$$

Z výpočtu (7.3.4) vyplývá, že mezi sepnutím a vypnutím čerpadla, je možné z tlakové nádoby odebrat  $\Delta V = 0,007\ m^3$  (7 l) zkušební kapaliny pro testování. Vzhledem k předepsaným hodnotám jednotlivých průtoků pro testování, je tato hodnota vyhovující s ohledem na četnost spínání a vypínání čerpadla.

Na obrázku 16 je zobrazeno hydraulické schéma testeru průtokoměrů. Schéma bylo vytvořeno v aplikaci AutoCAD 2014.



Tabulka 3 – Seznam použitých prvků první část

<p><b>1</b></p> 	<p><b>11</b></p> 	<p><b>13</b></p> 
<p>Zubové čerpadlo GPL2L-14 R-RE VJ-S GD-N ARGOHYTOS <sup>11</sup></p>	<p>Manometr MA001 (0/15 bar) STASTO – automation<sup>12</sup></p>	<p>Tlakové čidlo 0180 Sepnutí / rozepnutí (6/7 bar) BIBUS s.r.o.<sup>13</sup></p>
<p><b>8</b></p> 	<p><b>3.1 3.2 3.3 3.4 3.5</b></p> 	<p><b>12</b></p> 
<p>Škrťací ventil VRFB 90° 3/8'' HYDROCOM <sup>14</sup></p>	<p>Kulový kohout 3/8'' – mosazný série 1810 STASTO – automation <sup>15</sup></p>	<p>Pojišťovací ventil SV0212-14- 8 Otevírací tlak 8 bar STASTO – automation <sup>16</sup></p>
<p><b>16</b></p> 	<p><b>19</b></p> 	<p><b>15</b></p> 
<p>Kulový kohout třicestný 3/8'' mosazný série 3110 STASTO – automation <sup>17</sup></p>	<p>Hadicová vsuvka HN38-13-12-B-A STASTO – automation <sup>18</sup></p>	<p>Tlaková nádoba - vertikální Model 200 V nerezová fa JOVAL <sup>19</sup></p>

Tabulka – 4 Seznam požitych prvků druhá část

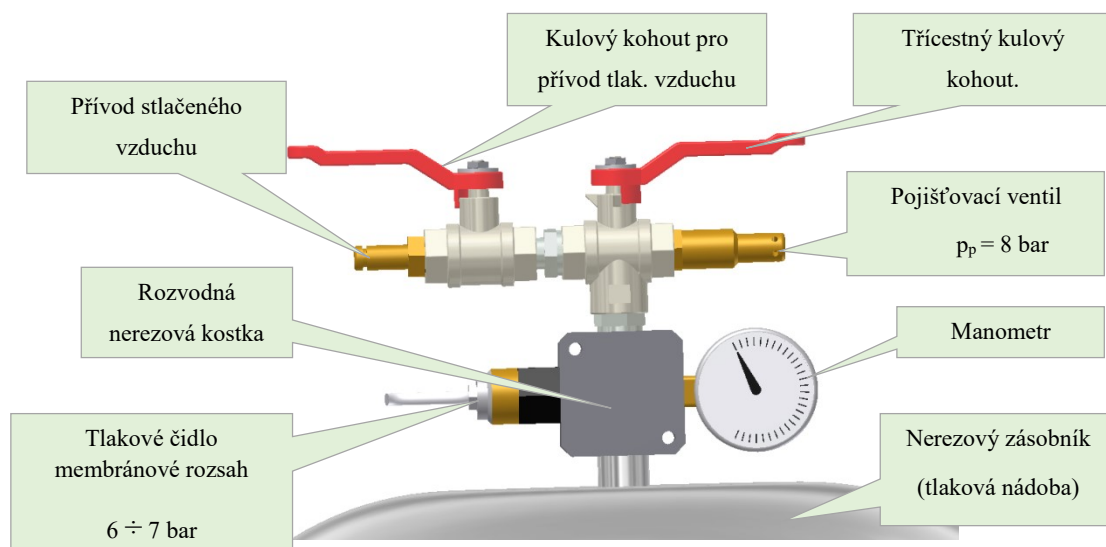
<div>9</div> <div></div>	<div>4</div> <div><div><div>C</div><div>V</div><div>VOLNÝ PRŮTOK FREE FLOW</div></div></div>	<div>14</div> <div></div>	
<div>Ventil koaxiální přímo řízený 2/2 MK10 G3/8'' COAX leading valve technology<sup>20</sup></div>	<div>Ventil jednosměrný V0600 Typ VU 3/8'' HYDROCOM<sup>21</sup></div>	<div>Jednotka na úpravu stlačeného vzduchu Řada PMACP300-10A-BSP fa STRÁNSKÝ a PETRŽÍK<sup>22</sup></div>	
<div>10</div> <div></div>	<div>7</div> <div></div>	<div>6</div> <div></div>	
<div>Kontrolní indikátor váhy+váža XK3113-SAC Kadlec spol. s.r.o.<sup>23</sup></div>	<div>Snímač tlaku DMP 331 DMP 331 110-2500-1-2-100-100 BD sensors<sup>24</sup></div>	<div>Digitální manometr BAROLI 02 M0E-2500-0-2-0K0-200-1 BD sensors<sup>25</sup></div>	
<div>5</div> <div></div>	<div><div>viz obr. 7</div></div>	<div>2</div> <div></div>	<div>17-18</div> <div></div>
<div>Odporový snímač teploty Pt 100 řada ST APOELMOS<sup>26</sup></div>	<div>Olejoznak sloupkový HCX.127-M10 ELESA-GANTER<sup>27</sup></div>	<div>Filtr CS-050-A10-A MP FILTRI<sup>28</sup></div>	<div>Hydraulické šroubení a hadice AVHB hydraulika<sup>29</sup></div>



## 8 Systém práce testeru

Zkušební kapalina bude do zkušebního obvodu dodávána z nerezového zásobníku (pozice 15), ve kterém bude udržován tlak v rozmezí  $p_{vzduch} = (6 \div 7)$  bar. To bude zajištěno tlakem vzduchu nad kapalinou v nádobě. Zařízení bude připojeno k stávajícímu rozvodu stlačeného vzduchu. Před vstupem vzduchu do nádrže je umístěna úpravna vzduchu (pozice 14). Hodnota tlaku vzduchu v nádobě nad kapalinou se kontroluje před každým testováním. Vzduch se do nádrže napouští vždy před testováním. Po ukončení testu je vzduch z nádoby vypuštěn.

Při poklesu tlaku vzduchu v nádobě na hodnotu  $p_{min} = 6$  bar, dojde k zapnutí čerpadla (pozice 1) a do nerezového zásobníku přes filtr (pozice 2) a jednosměrný ventil (pozice 4), bude dodávána kapalina z hydraulické nádrže umístěné v mechanické části č. 1, a to až do chvíle, kdy bude dosaženo tlaku vzduchu nad kapalinou  $p_{max} = 7$  bar. Potom dojde k vypnutí čerpadla. Sepnutí a vypnutí čerpadla bude řízeno tlakovým čidlem  $p_{vzduch} = (6 \div 7)$  bar (pozice 13), umístěným na vrchní straně nerezového zásobníku na nerezové kostce. Čidlo je nastaveno na požadované tlaky sepnutí a vypnutí čerpadla výrobcem. Na nerezové kostce je také umístěn napouštěcí kohout (pozice 3.5), napojen na tlakový vzduch, třicestný kulový kohout (pozice 16), manometr (pozice 11) a pojišťovací ventil přímý (pozice 12), který je nastaven na hodnotu tlaku  $p_p = 8$  bar. Ten slouží jako ochrana v případě poruchy tlakového čidla (viz obr. 17).



Obrázek 17 – Rozmístění prvků na tlakové nádobě

Kapalina je ze zásobníku pomocí hadice vedena k průtokoměrům. Před a za průtokoměry jsou připojeny nerezové kostky s čidly (pozice 5, 6, 7). Rozmístění prvků na nerezové kostce viz obrázek 9. Kapalina je od testovaných průtokoměrů dále vedena ke kontrolnímu průtokoměru umístěnému na monobloku. Odtud je kapalina vedena ke kulovým kohoutům (pozice 3.4) a škrticím ventilům (pozice 8). Na každém škrticím ventilu je zobrazena hodnota, na jaký průtok je daný ventil seřízen. Za škrticími ventily je instalován dvoucestný, dvoupolohový ventil (pozice 9), kterým je ovládáno spuštění a zastavování kapaliny, začátek a konec zkoušení. Od tohoto ventilu je kapalina vedena do plastové nádoby pomocí hadice a plastové trubky. V plastové nádobě je trubka umístěna tak, aby nedocházelo k víření kapaliny a jejímu okysličování. Do plastové nádoby proudí kapalina, tak dlouho, až kontrolní váha (pozice 10) zaznamená nastavenou hodnotu hmotnosti  $m$ . Hodnota průtoku  $Q$  se přepočítává automaticky z hustoty  $\rho$  kapaliny a naměřené hmotnosti  $m$  v dávce. Přepočet se provádí vždy pro hustotu při teplotě na konci měření daného průtoku.

Měřené množství se nastavuje v kolonce „**volume**“ viz obrázek 13 (plocha monitoru). Po ukončení měření a prodlevě  $\tau_{pr} = 10$  s, dojde k automatickému zapsání hodnot do zkušebního protokolu, poté je kapalina ručně vypuštěna otevřením kulového kohoutu (pozice 3.3) do hydraulické nádrže (mechanická část 1).

Pozn: Kontrolní průtokoměr slouží pouze k informativní kontrole průtoku. Jeho zařazení do systému bylo provedeno s ohledem na jeho dlouhodobý test. Sleduje se zde opakovatelnost a linearita při dlouhodobém používání. Při každém testování průtokoměrů jsou i hodnoty kontrolního průtokoměru zaznamenány do speciální tabulky. Tato tabulka není součástí této bakalářské práce.

## 9 Testovací postup

Testovací postup bude pro obsluhu přesným návodem, jak provádět testování průtokoměrů. Tento postup se stává oficiálním dokumentem a je zařazen do systému správy dokumentace firmy Elok.

### 9.1 Úvod

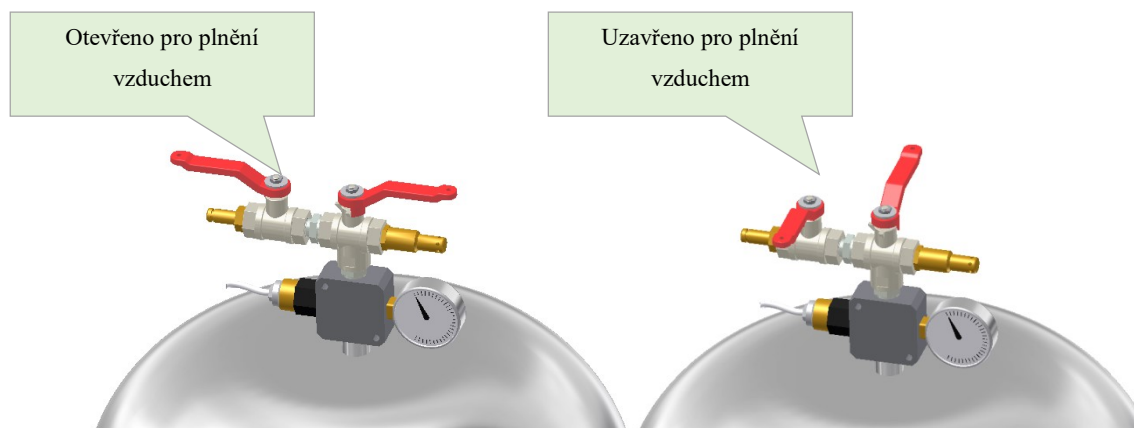
Testování se skládá z několika kroků, které je třeba dodržovat a je zapotřebí přistupovat k testování s maximální zodpovědností. Je nutné seznámit se s testovacím postupem a porozumět systému testování průtokoměrů. Testování průtokoměrů smí provádět jen řádně proškolený pracovník.

## 9.2 Kalibrace váhy

Po zapnutí hlavního vypínače jako první krok před testováním, proveďte ověření váhy. Na váhu (mechanická část 2) položte kalibrované závaží o hmotnosti 1 kg (1000 g), a odečtěte hodnotu na displeji váhy. Potom sundejte závaží a váhu vynulujte příslušným tlačítkem.

## 9.3 Příprava nerezové tlakové nádoby

Před plánovaným měřením je nutno zkontrolovat množství zkušební kapaliny v tlakové nádobě pomocí stavoznaku, který je součástí tlakové nádoby. V nerezové nádobě by mělo být 50 litrů zkušební kapaliny. Potom je nutno naplnit nádobu stlačeným vzduchem. To se provede tak, že se třicestný kulový kohout nastaví do polohy „otevřeno pro plnění vzduchem“, zároveň se otevře kulový kohout na straně přívodu stlačeného vzduchu (viz obr. 18). Do nádoby začne proudit stlačený vzduch. Na manometru se sleduje tlak vzduchu v nádobě. Při dosažení hodnoty  $p_{max} = 7$  bar se kulový ventil uzavře a třicestný kulový kohout se nastaví do polohy „uzavřeno pro tlakový vzduch“. Poloha kulových kohoutů, při plnění nádoby stlačeným vzduchem, a po naplnění, je znázorněna na obrázku 18. Je nutné, aby třicestný kulový kohout byl během testování v poloze „uzavřeno pro plnění vzduchem“. V této poloze je zajištěna funkce pojišťovacího ventilu.



Obrázek 18 – Polohy kulových ventilů při plnění nádoby stlačeným vzduchem

## 9.4 Zaběhávání průtokoměrů

Do připravených monobloků nainstalujte průtokoměry. Pokud se zkouší méně než šest kusů průtokoměrů, nahraďte chybějící průtokoměr speciální přírubou (náhrada průtokoměru). Jedná se v podstatě o zjednodušenou základnu průtokoměru. Po instalaci průtokoměrů zkontrolujte tlak vzduchu v zásobníku (musí být  $p_{max} = 7$  bar). Případně tlak upravte na požadovanou hodnotu pomocí tlakového vzduchu v rozvodech (viz kap 9.3). Ještě jednou si ověřte, že třicestný kulový kohout je ve správné poloze. Zkontrolujte stav

hladiny kapaliny v nádrži. Zkontrolujte že je otevřen kulový ventil před vstupem do monobloků (pozice 3.1). Ten musí být uzavřen pouze při výměně průtokoměrů v monoblocích.

Otevřete kulový kohout na ventilu pro průtok  $Q = 4,8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Dále nechte otevřený kohout pod plastovou nádobou, aby kapalina mohla volně odtékat přes trychtýř zpět do nádrže. Na displeji počítače dejte příkaz „**ON**“. Dojde k otevření ventilu COAX (pozice 9) a kapalina začne protékat systémem. Kapalinu nechejte protékat po dobu  $t_z = 5 \text{ min}$ . Dochází tak k požadovanému zaběhání zkoušených průtokoměrů a sjednocení teplot všech prvků. Během této doby střídejte jednotlivé průtoky postupným otvíráním a zavíráním kulových ventilů na panelu a překontrolujte tak jejich správnost na kontrolním průtokoměru. Případně pomocí škrticích ventilů průtoky upravte tak, aby odpovídaly požadovaným hodnotám.

Po uplynutí předepsané doby tlačítkem „**OFF**“ na displeji ukončete zaběhávání průtokoměrů.

Po vypuštění plastové nádrže uzavřete kohout (pozice 3.3) v její spodní části. Nádoba je tím připravena pro testování.

## 9.5 Testování

Na displeji vynulujte pomocí tlačítka „**Cleancounters**“ hodnoty pulsů u jednotlivých průtokoměrů. Vynulujte váhu tlačítkem  $\rightarrow 0 \leftarrow$ . Otevřete kulový kohout pro průtok  $Q = 0,5 \text{ l}$ . Kontrolní množství, které bude pro příslušný průtok nadávkováno, nastavte v kolonce „**volume**“ viz obr. 13 a 15 na 12 l. Množství kontrolní dávky 12 l bude nastaveno vždy pro průtoky  $(0,5 \div 12) \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Pro ostatní průtoky bude zkušební množství 10 l. Ověřte si znovu správnost tlaku v zásobníku kapaliny. Zkontrolujte stavoznak na hydraulické nádrži, kapalina musí být u horní rysky. V ovládacím softwaru k jednotlivým průtokoměrům přiřaďte testovací protokoly, kolonka „**Report**“ (viz obr. 13 a 15), do kterých budou automaticky po skončení každého měření zapsaná data. Spusťte test pomocí tlačítka „**Start**“ na obrazovce. (Dojde k otevření ventilu COAX). Během testu na displeji orientačně kontrolujte hodnoty tlaku, teploty, průtoku a výstupní hodnoty z váhy.

Po nadávkování testovacího množství dojde k automatickému zastavení testu uzavřením ventilu COAX. Testovací systém je nastaven tak, že k zápisu dat dojde

za čas  $t_u = 10$  s od ukončení testování. Toto je z důvodu dosažení „uklidnění“ systému. Během této doby nijak nezasahujte do systému a vyčkejte zápisu dat.

Po zápisu dat vypusťte kapalinu z plastové nádoby do nádrže, přes sběrný trychtýř. Po vypuštění zavřete kulový kohout (pozice 3.3) plastové nádrže. Celou proceduru zopakujte znovu pro nastavený průtok.

Stejným způsobem pokračujte i pro ostatní průtoky viz tabulka 1.

## 9.6 Závěr testu

Po úspěšné zkoušce se musí z průtokoměru vypustit zkušební kapalina, aby nedošlo ke kontaminaci výrobků zákazníka. Průtokoměr nutno vysušit a otřít.

Vyplněný Zkušební protokol každého průtokoměru označit výrobním číslem, a uložit elektronicky do K2 na 9. stranu zakázky do příslušného adresáře. (K2 – systém řízení výroby firmy Elok).

Zkušební protokol uložit pod číslem ve tvaru ZKUŠEBNÍ PROTOKOL 01911\_10\_001 REV H - XXXXXYYZZ. (kde X, Y a Z jsou znaky výrobního čísla průtokoměru, měsíc a rok). Do poznámky ve zkušebním protokolu uvést číslo kompletačního listu průtokoměru. Do kompletačního listu průtokoměru rovněž zaznamenávat případné úpravy průtokoměru či jeho dílů a opakovaná opravná měření.

Pozn.: Kompletační list slouží k evidenci, z jakých součástí byl daný průtokoměr sestaven. Případně jaké na něm byly provedeny změny během testování.

Příklad čísla Zkušebního protokolu:

**ZKUŠEBNÍ PROTOKOL 01911\_10\_001REV H – 000011117**

(pořadové číslo 1 z 11. měsíce roku 2017)

## 9.7 Zkušební protokol – popis

Výstupním dokumentem z testování průtokoměrů je Zkušební protokol. Ten byl vytvořen na základě požadavků na zkoušení, a byly zde zohledněny rovněž požadavky zákazníka. Vzhledem k tomu, že partner firmy Elok, pro kterého jsou průtokoměry a aditivační jednotky vyráběny sídlí v USA, je zkušební protokol vytvořen v angličtině.

Řádně vyplněný a zkontrolovaný protokol je nedílnou součástí každého expedovaného průtokoměru.

Každý zkušební protokol je v systému veden pod číslem, které je shodné se sériovým číslem průtokoměru (viz obr. 4).

Do oranžově označených polí (viz obr. 19, tyto pole jsou vybarveny jen pro tento popis) se zapisují jak hodnoty z jednotlivých čidel a snímačů, tak hodnoty kinematické viskozity  $\nu$  a hustoty  $\rho$ . Hodnoty kinematické viskozity a hustoty jsou přepočítávány v závislosti na teplotě (viz grafy 1 a 2). Do zkušebního protokolu je zapsána vždy nejvyšší a nejnižší hodnota, která byla zjištěna při měření všech průtoků.

Dále se zde zaznamenává čas potřebný k testování jednotlivých průtoků, hmotnost dávky, přepočet na litry, pulsy v dávce, teplota každého měření a poměr hmotnosti k objemu. Hodnoty jsou pomocí softwaru zapsány do této tabulky, vytvořené aplikací Microsoft Excel.

Ostatní hodnoty tohoto protokolu jsou aplikací dopočítány podle zadaných vzorců.

Výstupními hodnotami zkušebního protokolu jsou:

- **K factor deviation** (odchylka K faktoru).
- **Linearity** (linearita).
- **Repeat** (opakovatelnost).
- **Hydrotest** - Do tohoto protokolu se zapisuje manuálně. Test se skládá ze dvou částí. První část testu probíhá na samotném testeru průtokoměrů, kdy během testování obsluha sleduje, zda nedochází k průsakům kapaliny, zejména mezi základnou a pouzdrem průtokoměru.

V druhé části testu se kontroluje těsnost průtokoměrů při vyšším tlaku  $p_{hp} = 24$  bar. Tento test neprobíhá na testeru průtokoměrů, ale na jiném zařízení určeném pro testování aditivačních jednotek. Pro tento test je průtokoměr již namontován na aditivační jednotku.

Pokud průtokoměr vyhovuje stanoveným podmínkám a hodnoty splňují stanovená kritéria, zůstávají pole zelená s popisem „**Pass**“ (průtokoměr je možné instalovat na aditivační jednotku).

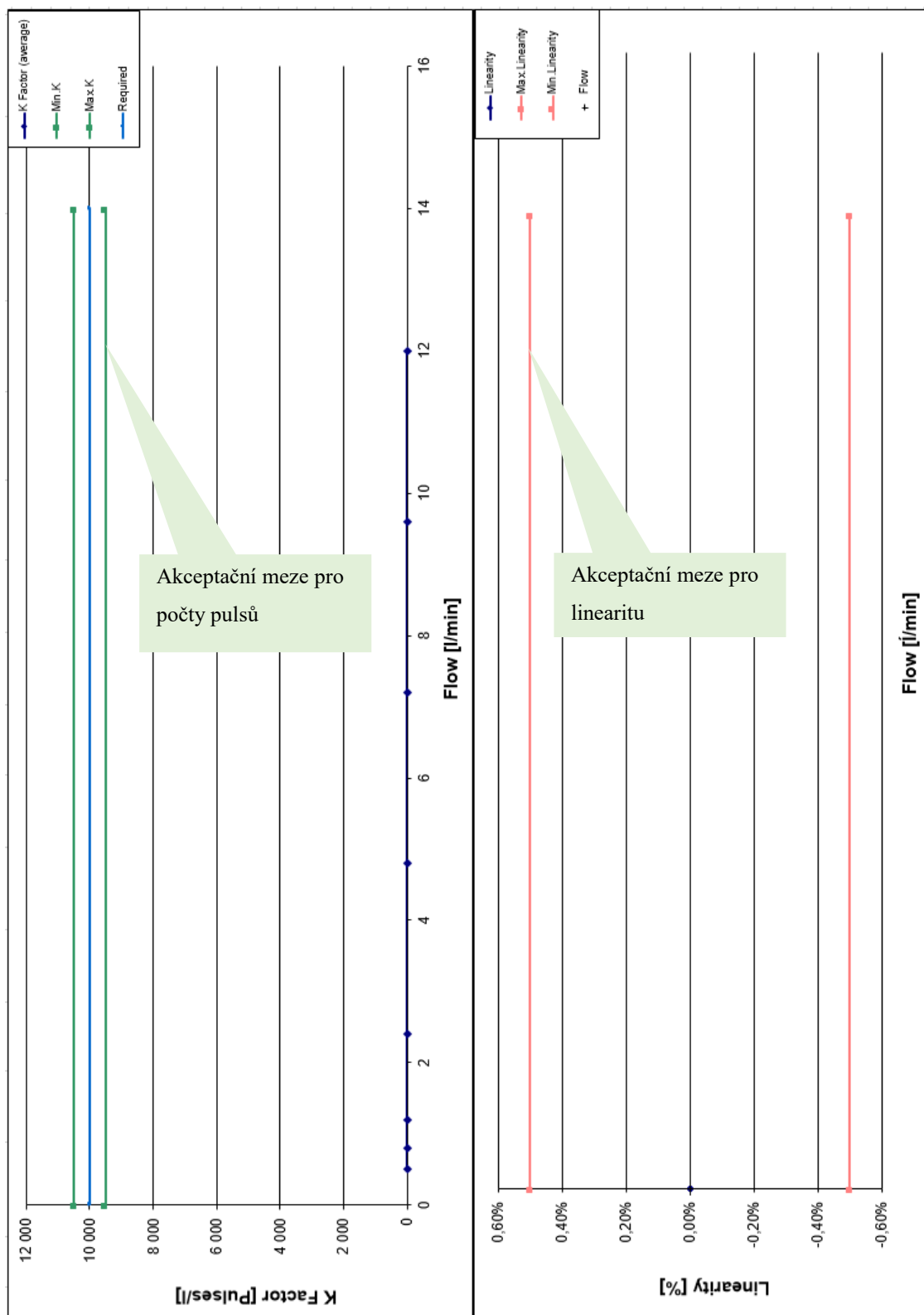
V případě, že minimálně jedna z hodnot je mimo stanovenou hodnotu, pole se zobrazí červeně a objeví se nápis „**Dontpass**“ (průtokoměr se označí jako neshodný výrobek a je vyřazen z další montáže).

Vyřazený průtokoměr je rozebrán, jednotlivé díly zkontrolovány a proměřeny. V případě, že některý z dílů byl poškozen nebo rozměrově nevyhovuje, je nahrazen jiným. Následně je průtokoměr opětovně sestaven a podroben opakovanému testování. Pokud je nevyhovující i opakovaná zkouška, tak se průtokoměr vyřadí.

Hodnoty opakovatelnosti (Repeat) a linearity (Linearity) jsou následně zpracovány i v přehledných grafech. V těchto grafech je možné jednoduše sledovat chování průtokoměru při jednotlivých průtocích. Intervaly akceptačních kritérií pro linearitu a K faktoru jsou barevně vyznačeny na obr. 20. Hodnoty průtoků u zobrazení linearity se zobrazí až po ukončeném testování (viz příloha B).

[illegible]





Obrázek 20 – Graf opakovatelnosti a linearity

Na obrázcích 21 a 22 je podrobný popis zkušebního protokolu. Protokol je pro tento popis, a z důvodu většího přehledu, rozdělen na dvě části.

Čas pro zaběhávání  
průtokoměrů

Skutečné hodnoty hustoty,  
viskozity, teploty a tlaku  
během měření

Sériové číslo průtokoměru

TEST REPORT (ZKUŠEBNÍ PROTOKOL) 10-001,TER/REV. H - XXXXXX/XX/XX									
Type of meter:					ACCUPLUS				
K Factor:	Required				10 000	(Pulses/l)			
Orientation:	Required				Horizontal				
Time of run-in	Required				5	(min)			
Fluid:					Test oil	Type CUT 3			
Density:	Required	0,78 - 0,86	(kg/l)	Real	Min.	Max.			
Viscosity:	Required	6 - 12	(cSt)	Real					
Temperature:	Required	15 - 30	(°C)	Real					
Pressure (max):	Required	7/6	(bar)	Real					
Recommended density, viscosity, temperature and pressure									
	Required	Min. 60			Min. 50 000				
	Flow	Time	Batch						
n.	Flow	Max/Min	(s)	(kg)	(l)	Pulses/Batch	(°C)	(kg/l)	(kg/min)
1.1	12	12,6							#####
1.2		11,4							#####
2.1	9,6	10,1							#####
2.2		9,1							#####
3.1	7,2	7,6							#####
3.2		6,8							#####
4.1	4,8	5,0							#####
4.2		4,6							#####
5.1	2,4	2,5							#####
5.2		2,3							#####
6.1	1,2	1,3							#####
6.2		1,1							#####
7.1	0,8	0,9							#####
7.2		0,7							#####
8.1	0,5	0,5							#####
8.2		0,4							#####
Comment:									
				Min. K	(Pulses/l)	#####	Min. ave. K	(Pulses/l)	#####
				Max. K	(Pulses/l)	#####	Max. ave. K	(Pulses/l)	#####
				Deviation K	(-%)	#####	Mean ave. K	(Pulses/l)	#####
				Deviation K	(+%)	#####	Linearity:	(+/-%)	#####
TEST				K Factor Deviation			Linearity		
RESULTS				#####	≤	5,00	#####	≤	0,50
				Pass			Pass		

Doporučené hodnoty hustoty,  
viskozity, teploty a tlaku

Čas testovaného průtoku

Povolený rozsah daného  
průtoku

Zaznamenané hodnoty hmotnosti,  
objemu v litrech, pulsů na dávku,  
teploty každého měření a hustoty

Kontrolované průtoky

Výsledná hodnota odchylny  
K – factoru

Výsledná hodnota linearity

Obrázek 21 – Popis zkušebního protokolu část 1



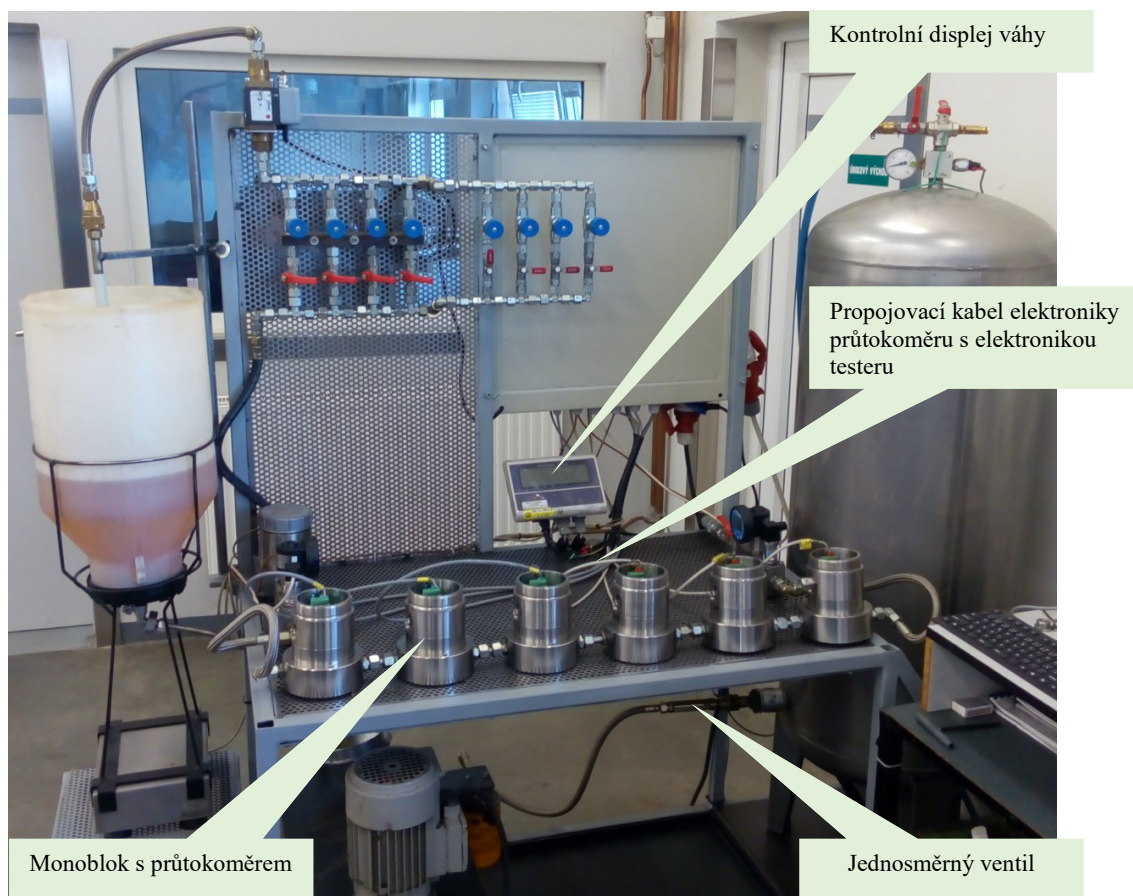
## 10 Tester průtokoměrů sestavený

Na obrázku 23 je kompletně sestavený tester průtokoměrů aditivačních jednotek. Tester je umístěn na speciálním pracovišti. Toto pracoviště je vyhrazeno výhradně pro zkoušky hydraulických zařízení vyráběných firmou Elok, zejména aditivačních jednotek a jednotlivých prvků používaných jako jejich příslušenství (např. rozstřikovací ventil).

Jednotlivé mechanické části testeru jsou umístěny dle návrhu tak, aby nedocházelo k jejich vzájemnému kontaktu. Propojení je řešeno hydraulickými hadicemi. Šroubení, pro spojení jednotlivých prvků a k napojení hadic, bylo dodáno firmou AVHB s.r.o.

Elektrické propojení je řešeno jak klasickými kabely, tak i kabely stíněnými. Stíněné kabely jsou použity z důvodů minimalizace možného ovlivnění měření rušením signálu.

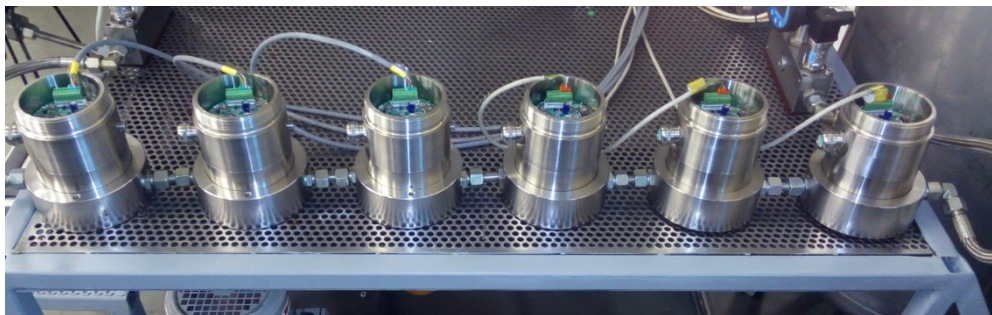
Byla provedena zkouška těsnosti celého hydraulického obvodu, včetně ověření funkce jednotlivých prvků, a to s vyhovujícím výsledkem. Dále byla otestována komunikace prvků testeru s řídicím softwarem, rovněž s vyhovujícím výsledkem. Na obrázku je možno vidět nainstalované průtokoměry v monoblocích.



Obrázek 23 - Tester průtokoměrů sestavený



Na sledujících obrázcích jsou zobrazeny jednotlivé uzly testerů průtokoměrů.



*Obrázek 24 – Instalované průtokoměry do monobloků*



*Obrázek 25 – Nerezová kostka s čidly*



*Obrázek 26 – Zapojení škrťacích ventilů a kulových ventilů na testeru*

## 11 Kontrolní testování průtokoměrů

Pro testování byl zaškolen pracovník, který má zkušenosti s testováním aditivačních jednotek a pracuje také jako servisní technik hydraulických zařízení, dodávaných firmou Elok. U tohoto testování je kladen důraz na pečlivost a dodržování postupu při testování.

Pro první testy byla z produkce vyhrazena padesátikusová série průtokoměrů. U prvních šesti průtokoměrů z této série se ověřila jejich instalace do monobloků. Provedla se kalibrace váhy, první test zaběhávání, vizuálně se kontrolovala jak těsnost hydraulického obvodu, tak těsnost samotných průtokoměrů. Ověřily se jednotlivé průtoky, funkce čidel a zaznamenávání hodnot do zkušebních protokolů. Během prvních testů se nevyskytly žádné problémy jak na jednotlivých částech testeru, tak na samotném řídicím softwaru. Vyplnění zkušebních protokolů proběhlo bez problémů.

K otestování šesti kusů průtokoměrů je zapotřebí 200 min. celkového času včetně instalace průtokoměrů do monobloků, zaběhání, testování, následné demontáže průtokoměrů a jejich přípravy na montáž do aditivačních jednotek. Za jednu osmihodinovou směnu je možné otestovat dvanáct kusů průtokoměrů. Tento výsledek je velmi dobrý a výrazně zrychlí montáž aditivačních jednotek.

Z celkové padesátikusové série se jako nevyhovující ukázaly dva průtokoměry, a to pro nevyhovující linearitu při nejmenším měřeném průtoku, tj.  $0,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Tyto průtokoměry byly rozmontovány a proběhlo měření jednotlivých dílů. Ukázalo se, že rozměr jedné ze součástí byl mimo toleranční pole. Po výměně dílů za správné a opětovném testování, byl již výsledek vyhovující.

Tester průtokoměrů aditivačních jednotek spolu se zkušebním protokolem se stává velmi důležitou součástí kvality plánu. Plán kvality je nedílnou součástí jakéhokoliv výrobku určeného do prostředí s nebezpečím výbuchu. Obsahuje metodiky měření, kontrolu dílů souvisejících s Ex – zařízením (nevýbušná zařízení), protokoly o zkouškách, zkušební postupy a zkušební protokoly.

Zkušební protokol s grafy je spolu s průtokoměrem zaslán zákazníkovi.

Příklad vyplněného vyhovujícího zkušebního protokolu z měřené padesátikusové série je spolu s grafy součástí příloh A a B této práce.

## Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout tester průtokoměrů aditivačních jednotek. Aditivační jednotky, jejichž nedílnou částí je průtokoměr, jsou elektrohydraulická zařízení určena k dávkování aditiv do benzínu a nafty. Průtokoměr v aditivačních jednotkách plní funkci měřidla, a slouží k přesnému odměřování množství aditiva při dávkování. Aditivum protékající průtokoměrem uvádí část dílů v průtokoměru do rotačního pohybu. Tento pohyb je následně snímán magnetickým snímačem a vyhodnocován elektronikou. Elektronika komunikuje s nadřazeným systémem, který řídí průběh aditivace.

Samotný systém testeru průtokoměrů aditivačních jednotek byl navržen s ohledem na požadovanou přesnost a efektivitu testování. Byly zohledněny požadavky zákazníka, který uvádí aditivační jednotky na trh. Stanovila se akceptační kritéria, která musí průtokoměry splňovat a průtoky, pro které budou průtokoměry testovány. Dále byl zvolen poloautomatický režim testování průtokoměrů a stanoveny hodnoty, které musí být systémem testeru zobrazovány, snímány a vypočítány. Tester byl navržen tak, aby se na něm dalo zkoušet šest průtokoměrů najednou a vyhovoval i ergonomickým požadavkům.

Naměřené a vypočtené hodnoty jsou zaznamenány ve zkušebním protokolu. Tento protokol je průvodním dokumentem každého průtokoměru, splňujícího akceptační kritéria. Protokol slouží jako kalibrační list průtokoměru. Mimo měřených a vypočtených hodnot obsahuje zkušební protokol informace o zaběhávání průtokoměrů, sériové číslo průtokoměru, jméno zkušební technika, datum, podpis, razítko výstupní kontroly a informace o akceptačních kritériích. Výsledné hodnoty akceptačních kritérií jsou na zkušebním protokolu přehledně zobrazeny barevným rozlišením. Testovací program a grafické zobrazení bylo navrženo ve spolupráci s vývojem elektro firmy Elok.

Na základě zadaných a požadovaných hodnot bylo navrženo hydraulické schéma a zvoleny jednotlivé prvky testeru. Při návrhu se vycházelo z požadavku managementu firmy Elok, využít co nejvíce ověřených prvků využívaných v jiných aplikacích. Také projekt zbytečně finančně nezatížit nákupem nových komponentů, a využít co nejvíce skladových zásob. Výroba a montáž samotného testeru probíhala v prostorách strojní výroby firmy. Tester byl umístěn na specializované pracoviště hydrauliky, které slouží také pro testování aditivačních jednotek.

Na sestaveném testeru byly provedeny funkční zkoušky a zkouška těsnosti s výsledkem vyhovujícím. Pro první měření byla vyčleněna série padesáti kusů

průtokoměrů. Testování probíhalo za dohledu proškoleného pracovníka. Samotné měření probíhalo při osazení všech monobloků. Během testování se nevyskytly žádné problémy, jak na samotném testeru, tak na ovládacím programu. Naměřené hodnoty byly zapsány do zkušebních postupů. Za jednu osmihodinovou pracovní směnu je možno otestovat dvanáct kusů průtokoměrů ve dvou dávkách po šesti kusech. Tento výsledek byl managementem firmy hodnocen velmi pozitivně, s ohledem na zvýšení produktivity při výrobě samotných aditivačních jednotek.

Významným přínosem tohoto testování je také skutečnost, že nyní je možné průtokoměry dodávat zákazníkovi i samostatně, bez nutnosti montáže na aditivační jednotku. Průtokoměr může být expedován spolu se zkušebním protokolem samostatně jako náhradní díl, případně je možné průtokoměr nabízet k využití v jiných aplikacích. V současné době probíhají jednání o možném použití průtokoměru v autolakovnách k měření spotřeby barvy.



## Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Dr. Ing. Lumíru Hružíkovi za odbornou pomoc, konzultace, ochotu a vstřícnost při vytváření této bakalářské práce.

Děkuji majitelům firmy Elok Opava s.r.o. Ing. Jiřímu Kleinovi a Ing. Josefu Malchárkovi, za možnost použít k bakalářské práci jeden z firemních projektů.

Dále bych rád poděkoval Ing. Pavlu Honkovi, vedoucímu konstrukce a strojní výroby firmy Elok Opava s.r.o., za jeho podporu a odborné konzultace při návrhu testeru průtokoměrů aditivačních jednotek.

## Seznam použité literatury

- [1] DRÁBKOVÁ, S. *Mechanika tekutin*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. 257 s. ISBN 978-80-248-1508-4.
- [2] KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-030-0308-3.
- [3] JANALÍK, J. *Měření tekutinových mechanismů*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 1995, 129 s., dostupné na [www.http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/](http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/).
- [4] MARTINEK, R. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. 200 s. ISBN 80-730-0114-4.
- [5] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy Díl 1*. 3. vydání. Ostrava: VŠB-TU, 2013. 154 s. ISBN 978-80-248-2983-8.
- [6] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy Díl 2*. 2. vydání. Ostrava: VŠB-TU, 2015. 140 s. ISBN 978-80-248-3777-8.
- [7] PAVLOK, B., HRUŽÍK, L., BOVA, M. *Hydraulická zařízení strojů*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. 116 s. <http://www.338.vsb.cz/PDF/hydraulicka-zarizeni-stroju.pdf>
- [8] MURRENHOF, H. *Fundamentals of Fluid Power*. Aachen: Verlag GmbH. 2014. 387 s. ISBN 978-3-8440-2826-3
- [9] WILL, D. ; GEBHARDT N. *Hydraulik: Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Springer, Berlin, 2008. 450 s. ISBN 978-354-0795-346.
- [9] EXNER, H., FREITAG, R., GEIS, H. et al. *Der Hydraulik Trainer Band 1, Grundlagen und Komponenten der Fluidtechnik Hydraulik*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth GmbH, 1991, 344 s. ISBN 3-8023-0619-8.
- [11] *Zubové čerpadlo* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <http://www.argo-hytos.com/cz/vyrobky/hydraulicke-pohony/gp2l.html>
- [12] *Manometr* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://www.stasto.cz/katalog/pneumaticke-prislusenstvi-p06/manometry/serie-ma001-manometr-s-trubkovym-perem-napojeni-dole-teleso-ocel-merici-clen-sl/60-c-tepl-media-max-60-c.aspx>

- [13] *Tlakové čidlo* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z:  
[https://www.bibus.cz/prehled-produktu/pneumatika/ventily/procesni-ventily/?L=13&id=20932&tx\\_solr%5Bq%5D=0180](https://www.bibus.cz/prehled-produktu/pneumatika/ventily/procesni-ventily/?L=13&id=20932&tx_solr%5Bq%5D=0180)
- [14] *Škrťací ventil* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z:  
<http://www.hydrocom.cz/skrťaci-ventily>
- [15] *Kulový kohout* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z:  
<https://www.stasto.cz/katalog/kulove-kohouty-rucni-a02/kulove-kohouty-mosaz/serie-1810-1710-kulovy-kohout-plny-prutok-vnitřni-zavit-tesneni-ptfe-paka-ocel-1.aspx>
- [16] *Pojišťovací ventil* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z:  
<https://www.stasto.cz/katalog/redukčni-pojistne-a-zpetne-ventily-prislusenstvi-a07/pojistne-ventily/serie-sv02-pojistny-ventil-teleso-mosaz-pruzina-nerez-tesneni-fkm-pro-vzduch-nejedovate-a-nehorlave-plyny.aspx>
- [17] *Kulový kohout třícestný* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z:  
<https://www.stasto.cz/katalog/kulove-kohouty-rucni-a02/kulove-kohouty-mosaz/serie-3110-kulovy-kohout-3-cestny-t-vrtani-plny-prutok-dvousalkove-tesneni-vstup-tlaku-zespolu-vnitřni-zavit-tesneni-ptfe-paka-ocel-2.aspx>
- [18] *Hadicová vsuvka* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z:  
<https://www.stasto.cz/katalog/spojovací-prvky-p05/hadicove-vsuvky-ms58-tlak-max-20-bar/serie-hn38-hadicova-vsuvka-zavit-valcove-2.aspx>
- [19] *Tlaková nádoba* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z:  
<http://www.pumpa.cz/cz/tlakove-nerezove-nadoby-joval>
- [20] *Ventil koaxiální* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z:  
<https://www.stasto.cz/katalog/specialni-armatury-a08/2/2-cestne-koaxialni-ventily-primo-rizene/serie-mk-2/2-cestny-ventil-koaxialni-primo-rizeny-pripojeni-vnitřni-zavit-teleso-mosaz-ocel/50hz.aspx>
- [21] *Jednosměrný ventil* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z:  
<http://www.hydrocom.cz/jednosmerne-ventily-nerizene>

- [22] *Jednotka na úpravu stlačeného vzduchu* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/uprava-vzduchu/uprava-vzduchu-mindman-menu/uprava-vzduchu-mindman-macp300/>
- [23] *Kontrolní indikátor váhy* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.vahy.net/cz/>
- [24] *Snímač tlaku* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.bdsensors.cz/tlak/snimace-tlaku/detail/produkt/dmp-331/>
- [25] *Digitální manometr* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.bdsensors.cz/tlak/digitalni-manometry/detail/produkt/baroli-02/>
- [26] *Odporový snímač teploty* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.apoelmos.cz/files/tinymce/Ke%20stažení/APO%20vyrobky%202017.pdf>
- [27] *Olejoznak sloupcový* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.elesaganter.cz/vyrobky/prvky-pro-hydraulicke-systemy/skupina/hcx>
- [28] *Hydraulický filtr* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <http://kdfilter.cz/produkty/hydraulicke-filtry/>
- [29] *Hydraulické šroubení a hadice* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.avhb.cz/>
- [30] *Olej* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://eshop.paramo.cz/produkty/KatalogovyList.aspx?kodproduktu=V032415>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Jednotka aditivační .....	5
Obrázek 2 – Instalace jednotky aditivační s jednotkou řídící na potrubí .....	6
Obrázek 3 – Instalace jednotky aditivační s jednotkou řídící mimo potrubí .....	7
Obrázek 4 – Průtokoměr popis dílů – část 1 .....	8
Obrázek 5 – Průtokoměr popis dílů – část II.....	9
Obrázek 6 – Sestava testeru průtokoměrů.....	14
Obrázek 7 – Mechanická část č. 1 .....	15
Obrázek 8 – Mechanická část č. 2.....	16
Obrázek 9 – Nerezová kostka s prvky.....	17
Obrázek 10 – Prvky mechanické části 3 .....	18
Obrázek 11 – Prvky mechanické části č. 3.....	18
Obrázek 12 – Elektrická skříň s prvky .....	19
Obrázek 13 – Zobrazení měření na monitoru počítače .....	20
Obrázek 14 – Zobrazení měření na monitoru počítače část levá .....	21
Obrázek 15 – Zobrazení měření na monitoru počítače část pravá .....	21
Obrázek 16 – Hydraulické schéma.....	24
Obrázek 17 – Rozmístění prvků na tlakové nádobě.....	27
Obrázek 18 – Polohy kulových ventilů při plnění nádoby stlačeným vzduchem .....	29
Obrázek 19 – Zkušební protokol.....	34
Obrázek 20 – Graf opakovatelnosti a linearity.....	35
Obrázek 21 – Popis zkušebního protokolu část 1 .....	36
Obrázek 22 – Popis zkušebního protokolu část 2 .....	37
Obrázek 23 - Tester průtokoměrů sestavený.....	38
Obrázek 24 – Instalované průtokoměry do monobloků.....	39
Obrázek 25 – Nerezová kostka s čidly .....	39
Obrázek 26 – Zapojení škrťacích ventilů a kulových ventilů na testeru .....	39

## Seznam grafů

Graf 1 Závislost hustoty na teplotě .....	13
Graf 2 Závislost kinematické viskozity na teplotě .....	13

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Zkušební průtoky .....	10
Tabulka 2 Charekateristické parametry oleje PARAMO CUT.....	12
Tabulka 3 Seznam použitých prvků první část .....	25
Tabulka 4 Seznam použitých prvků druhá část.....	26

## Seznam příloh

Příloha A Vyplněný zkušební protokol	
Příloha B Graf s průběhy linearity a pulsy	
Příloha C Hydraulické schéma testeru průtokoměrů	